ÉTUDES ET EXPÉRIENCES

SUR LE

SORGHO A SUCRE

CONSIDÉRÉ

AUX POINTS DE VUE BOTANIQUE, AGRICOLE, CHIMIQUE
PHYSIOLOGIQUE ET INDUSTRIEL



PAR

H. JOULIE

PHARMACIEN EN CHEF DE L'HOPITAL SAINT-ANTOINE, A PARIS
MEMBRE CORRESPONDANT DE LA SOCIÉTÉ D'AGRICULTURE DU DÉPARTEMENT DE LA DRÔME

THÈSE

PRÉSENTÉE A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

PARIS
ÉTIENNE GIRAUD, LIBRAIRE-ÉDITEUR
20, RUE SAINT-SULPICE, 20

1864

ÉTUDES ET EXPÉRIENCES

SUR

LE SORGHO A SUCRE

ERRATA

Page 10, ligne 18, au lieu de : *ex infinis*, lisez : *ex infimis*.

— 27, — 22, *au lieu de :* monicotylédoné, *lisez :* monocotylédoné.

— 37, — 14 du tableau, 2e colonne, *au lieu de :* Id., *lisez :* ?.

— 44, — 8 du tableau, *au lieu de :*

Topinambours. . . { Racines. 26,440 / Tiges. . 11,100 } 40,840

lisez :

Topinambours. . . { Racines. 26,440 / Tiges. . 14,100 } 40,540

— 115, — 5 du 2e tableau, *au lieu de :* Oxyde de magnésie, *lisez :* Oxyde de manganèse.

— 161, — 10, *au lieu de :* On pèse exactement 50 à 500 grammes, *lisez :* On pèse exactement 50 à 100 grammes.

— 195, — 6, *au lieu de :*

$$x = \frac{100\ \mathrm{D} + \mathrm{S} \times 75{,}8}{\mathrm{R}}$$

lisez :

$$x = \frac{100\ \mathrm{D} - \mathrm{S} \times 75{,}8}{\mathrm{R}}$$

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1

ÉTUDES ET EXPÉRIENCES

SUR LE

SORGHO A SUCRE

CONSIDÉRÉ

**AUX POINTS DE VUE BOTANIQUE, AGRICOLE, CHIMIQUE
PHYSIOLOGIQUE ET INDUSTRIEL**

PAR

H. JOULIE

PHARMACIEN EN CHEF DE L'HOPITAL SAINT-ANTOINE, A PARIS
MEMBRE CORRESPONDANT DE LA SOCIÉTÉ D'AGRICULTURE DU DÉPARTEMENT DE LA DRÔME

THÈSE

PRÉSENTÉE A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS



PARIS
ÉTIENNE GIRAUD, LIBRAIRE-ÉDITEUR
20, RUE SAINT-SULPICE, 20

1864

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

ADMINISTRATEURS

MM. Bussy, *Directeur.*
Guibourt, *Secrétaire, Agent comptable.*
Gaultier de Claubry, *Professeur titulaire.*

PROFESSEUR HONORAIRE

M. Caventou.

PROFESSEURS

MM. Bussy.	Chimie inorganique.
Berthelot.	Chimie organique.
Lecanu.	Pharmacie.
Chevallier.	Pharmacie.
Guibourt.	Histoire naturelle des médicaments.
Chatin.	Botanique.
Valenciennes.	Zoologie.
Gaultier de Claubry. . .	Toxicologie.
Buignet.	Physique.

PROFESSEURS DÉLÉGUÉS
DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

MM. Bouchardat
Gavarret.

AGRÉGÉS

MM. L. Figuier.
Reveil.
Lutz.
L. Soubeyran.

MM. Riche.
Bouis.
Grassi

Nota. — L'École ne prend sous sa responsabilité aucune des opinions émises par les candidats.



ÉTUDES

SUR

LE SORGHO A SUCRE

Le sucre de canne est très-anciennement connu. Il paraît avoir été introduit en Europe à la suite des expéditions d'Alexandre le Grand. Pendant des siècles son usage ne s'étendit guère au delà des prescriptions médicales. Il n'a commencé à se répandre un peu qu'à la fin des croisades, époque à laquelle les Vénitiens en firent l'objet d'un commerce assez important. Depuis lors, sa consommation n'a cessé de s'accroître; et bien qu'elle s'élève aujourd'hui à environ 580 millions de kilogrammes pour l'Europe seulement, il ressort des statistiques qu'elle suit une marche ascensionnelle rapide. La canne à sucre a possédé jusqu'au dernier siècle le privilége exclusif de la production sucrière.

Aujourd'hui la betterave lui fait une concurrence très-fructueuse, malgré les difficultés beaucoup plus grandes de son traitement industriel. Or, la culture de la canne n'étant possible que sous un climat très-chaud et la betterave ne donnant de bons résultats que dans les contrées assez froides, telles que le nord de la France, l'Allemagne, etc., l'industrie sucrière s'est trouvée, jusqu'ici, nécessairement confinée dans deux régions différentes et fort éloignées l'une de l'autre. Une plante à sucre, dont la culture pourrait réussir dans les pays intermédiaires, serait donc une acquisition de la plus haute importance.

Le sorgho sucré (*Sorghum saccharatum*, Pers.), dont nous devons l'introduction en France au zèle éclairé de M. de Montigny, a paru susceptible de combler cette lacune. Aussi ne doit-on nullement s'étonner de la faveur avec laquelle il a été accueilli dès sa première apparition.

Un grand nombre d'agriculteurs en firent l'essai sur leurs terres et tous en obtinrent d'abondantes récoltes, ce qui semble indiquer que la plante s'accommode de conditions agricoles fort différentes. Après un moment d'engouement excessif, le sorgho est tombé presque dans l'oubli. Il ne pouvait guère en être autrement. Le fait de son acclimatation facile une fois établi, il s'agissait de tirer des récoltes obtenues un parti profi-

table. Or, les questions que soulève l'exploitation du sorgho ne sont pas de celles que peut résoudre la pratique industrielle. Il fallait avant tout, par une étude attentive et patiente, chercher les conditions de culture qui favorisent la formation du sucre dans cette nouvelle plante et déterminer les difficultés de son extraction, afin d'arriver à la création de procédés qui permissent de l'obtenir.

Le sorgho a déjà été l'objet de nombreuses publications. Cependant la voie que je viens d'indiquer n'a encore été que fort peu suivie. Désireux d'apporter mon contingent à cette étude aussi utile qu'intéressante, je me décide à faire connaître les résultats, encore bien incomplets, auxquels je suis parvenu après plusieurs années de recherches. J'espère ainsi fournir quelques renseignements à l'industrie sucrière nouvelle dont le sorgho sera un jour la matière première et qui viendra enrichir de ses produits le midi de la France et surtout notre belle colonie algérienne.

Mes études ont eu pour objet principal la recherche des applications industrielles dont le sorgho est susceptible. Je n'ai cependant pas cru devoir m'abstenir des considérations théoriques de chimie et de physiologie végétale que les résultats obtenus dans un autre but pouvaient faire naître. C'est ainsi que j'ai été conduit par la force même des chiffres à donner quelques

aperçus sur la génération du sucre de canne au sein des végétaux et sur le rôle physiologique que les matières sucrées paraissent y remplir. Ce point très-obscur, mais très-intéressant de la physique végétale, n'a encore été abordé que par un très-petit nombre d'expérimentateurs; aussi ai-je cru nécessaire d'y consacrer une partie importante de ce travail.

Enfin pour donner aux analyses et aux conclusions exposées dans le texte les garanties qui seules peuvent permettre d'en mesurer le degré de certitude, j'ai réuni dans des notes placées à la fin de l'ouvrage tout ce qui concerne les méthodes analytiques auxquelles j'ai cru devoir recourir.

Mon travail se subdivise donc en trois parties.

I. Études botaniques, agricoles et industrielles sur le sorgho sucré et sur ses produits.

II. Considérations sur la constitution chimique du sucre de canne, sur sa formation et sur le rôle physiologique des matières sucrées dans la végétation.

III. Notes concernant les méthodes analytiques suivies pour l'obtention des résultats exposés dans les deux premières parties.





Fig. 1.
Gravure sur bois d'après une photographie prise sur nature, par M. Durand, phot (Boulevard Saint-Germain, 74).

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

DESCRIPTION BOTANIQUE DU SORGHO SUCRÉ

1. Historique.

Le sorgho sucré a été introduit en France, sous le nom de canne à sucre du nord de la Chine, dans un envoi de graines fait à la Société de géographie de Paris, en 1851, par M. de Montigny, alors consul de France à Shang-Haï (Chine). Cette graminée est loin d'être nouvelle pour les botanistes.

Linnée, dans son *Species plantarum*, publié en 1765, en donne une description détaillée sous le nom de *Holcus saccharatus*, et la range dans sa Polygamie monoëcie. Depuis cette époque, une étude plus complète a conduit Roxburg à rattacher le sorgho sucré aux Andropogons, avec lesquels il offre de grandes ressemblances,

et à le séparer définitivement des Holcus dont il diffère par des caractères très-importants. Ce botaniste le décrit dans sa flore de l'Inde sous le nom d'*Andropogon saccharatus*, et Kunth, dans son agrostographie, publiée en 1833, lui conserve la même place et le même nom. Toutefois, il en distingue, sous le nom d'*Andropogon Cafrorum*, une espèce étudiée par Arduin de Florence, qui n'en diffère que par ses glumes velues et ses semences inermes.

Depuis cette époque, le nombre des Andropogons, qui, dans l'ouvrage de Kunt, s'élève déjà à cent soixante-quatorze espèces, s'est tellement accru que certains classificateurs ont cru nécessaire de subdiviser ce genre en sections (Endlicher, *Genera plantarum*), et d'autres de le démembrer en plusieurs genres, parmi lesquels les sorghos sont venus prendre rang à titre générique. (Persoon, *Synopsis ;* Palissot de Bauvois, *Agrostographie.*) C'est à cet ensemble de circonstances que la plante qui nous occupe a dû de passer successivement par les noms de *Holcus saccharatus* (Linnée), *Andropogon saccharatus* (Roxburg), pour arriver enfin à celui de *Sorghum saccharatum* (Persoon), qu'elle paraît devoir conserver. Il est toutefois nécessaire d'ajouter à ce nom spécifique une épithète désignant la variété, car depuis quelques années on a apporté en France, sous le nom d'*Imphys*, plusieurs plantes qui ne diffèrent du sorgho sucré que par des caractères d'une très-faible importance.

Comme je ne puis affirmer les observations et les résultats que j'ai à faire connaître que par rapport à la variété que j'ai étudiée, j'ai jugé nécessaire de commencer ce travail par une description botanique détaillée et précise du sorgho sucré. Je ne me dissimule point les difficultés et les périls d'une pareille excursion sur un terrain qui n'est pas le mien. Je me suis néanmoins décidé à la tenter avec le désir de suppléer, autant qu'il m'était possible, à l'absence, complète jusqu'ici, d'un travail spécial sur ce point. J'espère ramener ainsi un peu d'ordre dans les dénominations que des personnes, aussi étrangères à la botanique que dévouées aux progrès de la culture du sorgho, introduisent au hasard dans les publications, d'ailleurs pleines d'intérêt, où elles rendent compte de leurs essais agricoles.

2. Racine.

La partie souterraine du sorgho sucré se compose d'un cône formé de plusieurs entrenœuds raccourcis et comprimés, dont le sommet termine inférieurement la tige. Dans sa jeunesse ce cône porte à son extrémité la cicatrice de la radicule avortée. Chacun de ses entrenœuds donne naissance à un faisceau de radicelles dont la longueur atteint quelquefois jusqu'à 60 à 70 centimètres, mais s'arrête le plus souvent entre 25 et 30. Elles se composent d'un meditullium fibreux recouvert d'une couche cellulaire assez épaisse. Leur grosseur est

à peu près celle d'une plume à écrire; comme toutes les racines monocotylédones elles ne sont jamais ramifiées et portent des fibrilles sur toute leur longueur.

L'ensemble des radicelles et de la souche qui leur donne naissance forme une touffe d'un volume assez médiocre, lorsqu'il s'agit de fixer au sol une plante qui s'élève à plus de deux mètres de haut et qui offre, par le développement de ses feuilles, une grande surface à l'action des vents.

La tige du sorgho a une grande tendance à produire des racines adventives à ses entrenœuds les plus rapprochés du sol; si bien qu'ils sont toujours recouverts à leur base de petits mamelons qui ne sont autre chose que des radicelles naissantes. Souvent même on en rencontre qui s'allongent et finiraient par atteindre le sol si la période de végétation se prolongeait suffisamment. Ce caractère avait déjà été observé par Linnée qui le décrit ainsi : *Radices ex infinis caulis geniculis descendunt in terram.*

Nous verrons au chapitre suivant comment on peut utiliser cette propriété de la tige du sorgho pour lui donner par un buttage, convenablement exécuté, une plus grande résistance à l'action des vents.

3. Tige.

La tige du sorgho sucré s'élève ordinairement droite; cependant si quelque accident la couche sur la terre,

elle peut y continuer sa végétation, ainsi que l'a observé M. Sicard[1].

Elle est constituée par une série d'entrenœuds de plus en plus longs à mesure que l'on s'approche davantage du sommet. De chaque nœud part une feuille engaînante dont la gaîne fendue s'élève souvent jusqu'au-dessus du nœud supérieur pour donner naissance au limbe de la feuille.

Chaque nœud porte à l'aisselle de sa gaîne un bourgeon qui reste ordinairement rudimentaire. Ceux de la portion souterraine de la tige se développent fréquemment et produisent, pour chaque pied, de trois à sept tiges et quelquefois plus qui peuvent arriver toutes à maturité si la saison est favorable. Quant aux bourgeons latéraux aériens il est rare qu'ils acquièrent un développement important. Le plus souvent à l'époque de la maturité de la graine ils sont encore à l'état rudimentaire, et ce n'est que par une dissection attentive que l'on peut y découvrir les rudiments d'épis latéraux. Ceux-ci ne manqueraient pas de s'accroître autant que l'épi terminal si la saison était suffisamment prolongée. Cela est si vrai que lorsque l'été se trouve chaud et humide, on voit fréquemment les bourgeons latéraux de la partie supérieure de la plante s'allonger, plus haut que son inflorescence terminale. Leurs épis parviennent quel-

[1] *Monographie de la canne à sucre du nord de la Chine, dite sorgho sucré*, par le docteur Adrien Sicard, tome I, page 68.

quefois jusqu'à la fécondation de leurs fleurs avant les premières gelées.

La photographie (fig. 2) représente un cas de cette production insolite. On y aperçoit l'épi latéral au moment où il sort de sa gaîne. La plante qui a fourni cet échantillon faisait partie de la récolte de 1861. En 1862 j'ai vu des épis latéraux beaucoup plus développés. On comprendra plus loin l'importance de cette observation au point de vue physiologique.



Fig. 2.

La hauteur ordinaire des tiges de sorgho, venues dans les environs de Paris et dans un terrain de moyenne humidité, est d'environ deux mètres; mais dans les sols humides des pays méridionaux, elles atteignent jusqu'à trois mètres et plus.

Leur grosseur est maximum à la base et va diminuant jusqu'au sommet. Elle est d'ailleurs assez variable suivant les conditions dans lesquelles la plante est cultivée. Ordinairement elle est, à l'époque de la maturité, de 15 à 25 millimètres à la base et de 6 à 8 au sommet. Mais dans les terrains humides du midi de la France et de l'Algérie on voit des tiges dont le diamètre à la base va quelquefois jusqu'à 4 centimètres. Au sommet de chaque entrenœud on trouve un léger renflement d'où s'échappe la gaîne de la feuille. Au-dessus la tige est plus étroite. Les entrenœuds sont sensiblement cylindriques, en sorte que le décroissement de la tige se fait d'une manière brusque au-dessus de chaque nœud.

L'organisation intérieure de la tige du sorgho est celle de toutes les monocotylédones et particulièrement semblable à celle de la canne à sucre. Les nœuds sont formés par l'entrecroisement des faisceaux fibro-vasculaires qui se distribuent aux feuilles. Au-dessous du nœud, ces faisceaux descendent verticalement en se resserrant de plus en plus à mesure qu'ils se rapprochent de la périphérie. Au centre ils sont très-rares et épars au sein d'un tissu cellulaire abondant, tandis que près de la surface ils sont si nombreux qu'ils laissent à peine subsister entre eux quelque trace de tissu cellulaire. Le tout est recouvert d'une couche d'épiderme luisant et corné.

La tige conserve une couleur verte intense pendant toute la durée de sa végétation. Elle ne commence à

pâlir d'abord et à jaunir ensuite qu'à l'époque où ses graines sont arrivées à maturité. A ce moment il se produit quelquefois, sur l'épiderme et même dans une certaine épaisseur de la tige, des colorations rouge intense que l'on doit regarder, je crois, comme tout accidentelles. D'ailleurs elles ne se montrent que fort rarement, à moins que la plante n'ait reçu quelque blessure. Dans ce cas la coloration rouge se manifeste rapidement et acquiert une grande intensité.

Elle se montre d'abord autour des faisceaux fibro-vasculaires et envahit peu à peu tous les tissus ambiants.

4. Feuilles.

Les feuilles du sorgho sucré sont d'un beau vert glauque; leur longueur varie de 40 à 80 centimètres et leur largeur de 5 à 8 centimètres vers leur milieu. Elles vont en diminuant à partir de ce point dans les deux sens, mais plus rapidement vers leur sommet où elles se terminent en pointe assez aiguë. Leur limbe est entier et ondulé sur les bords. Il est formé par des faisceaux fibro-vasculaires assez serrés et réunis entre eux par du tissu cellulaire. Le tout est compris entre deux épidermes qui, se soudant au bord du limbe, forment une marge de 2 dixièmes de millimètre environ, transparente et rugueuse au toucher. Les nervures, translucides, partent soit de la gaîne, soit de la nervure médiane dont elles s'éloignent d'abord pour

s'en rapprocher ensuite en décrivant un arc de cercle très-allongé. Les feuilles du sorgho sont donc légèrement curvinerves. Leur nervure médiane, canaliculée à la face supérieure et saillante à la face inférieure, offre, comme les autres, une certaine translucidité par défaut de tissu cellulaire coloré en vert. A sa naissance, la nervure médiane présente une petite surface couverte de poils qui n'existent pas sur les jeunes feuilles.

La ligule que l'on trouve au point où le limbe s'échappe de la gaîne est membraneuse, hyaline et entière dans la jeunesse. Plus tard son bord se couvre de poils et on peut alors lui appliquer avec raison l'épithète de ciliée.

La gaîne est parfaitement rectinerve. Elle est marquée à son milieu d'une nervure de plus en plus saillante à mesure que l'on s'avance vers son sommet où elle se continue par la nervure médiane de la feuille. La gaîne développée étant plus large que la circonférence de la tige, l'un de ses bords se replie nécessairement sur l'autre; et si l'on compare à ce point de vue deux gaînes successives, on voit que le sens dans lequel la gaîne s'enroule autour de la tige varie de l'une à l'autre. Il y a donc alternance dans le sens de l'enroulement des gaînes comme dans la disposition des feuilles.

Quand on enlève la gaîne d'une feuille et que l'on met ainsi à nu l'entrenœud qu'elle recouvrait, on trouve, entre les deux surfaces qui étaient en contact, une sorte d'efflorescence blanchâtre très-analogue à celle

que l'on observe au même endroit sur la canne à sucre et qui a reçu le nom de cérosie.

5. Inflorescence.

1° Disposition des rameaux.

Arrivée à maturité la tige du sorgho sucré se termine par une inflorescence rameuse portée sur une flèche qui n'est autre que le prolongement de la tige (fig. 3). Cette flèche est ordinairement assez élancée, légèrement conique, et porte immédiatement au-dessous de ses premières ramifications la trace d'une feuille avortée, trace indiquée au moins par des poils. Autour de la flèche ou axe principal de l'inflorescence et à diverses hauteurs se trouvent disposés des demi-verticilles imparfaits[1] de ramifications secondaires. Les points d'émergence de ces rameaux ne sont pas disposés dans un même plan perpendiculaire à l'axe de la tige, comme l'expression de demi-verticilles, prise à la lettre, pourrait le faire croire. Seulement ils sont assez peu distants les uns des autres et assez éloignés de ceux du demi-verticille supérieur pour que l'on ait le droit de les considérer comme faisant partie d'un même système organique. La distinction des demi-verticilles les uns des autres est surtout nette dans le bas de l'inflorescence. Plus on s'approche de son sommet, plus au contraire ils paraissent se mêler et se

[1] *Panicula semi-verticillata* (Linnée, *loc. cit.*).

confondre. Les demi-verticilles successifs alternent de chaque côté de la tige exactement comme le feraient des feuilles. Leur nombre varie de 5 à 13 ou 14. Au-dessus de chacun d'eux l'axe se rétrécit et se trouve creusé d'autant de canalicules longitudinaux qu'il y a d'axes secondaires au demi-verticille. Ces sillons paraissent être le résultat de la pression exercée, pendant la jeunesse de l'inflorescence, par les axes secondaires contre l'axe principal dans lequel ils se sont pour ainsi dire incrustés.


Fig. 3.

Les rameaux secondaires de l'inflorescence sont eux-mêmes en nombre fort variable : 2 à 13 environ, et en général d'autant moins nombreux que le demi-verticille auquel ils appartiennent se rapproche davantage du sommet. A leur base, ils sont renflés et couverts d'un léger duvet blanchâtre. Ces rameaux de première génération en portent eux-mêmes de seconde, affectant sur eux une disposition irrégulièrement alterne ou verticillée, lesquels sont à leur tour plus ou moins ramifiés ordinairement dans le mode alterne. Enfin à l'extrémité de toutes ces ramifications, quelle qu'en soit la génération, on trouve un certain groupe d'épillets qui constitue l'élément essentiel de l'inflorescence.

Avant d'étudier ce groupe terminal, essayons d'interpréter au point de vue morphologique les dispositions que nous venons de décrire.

Les dernières feuilles que porte la tige du sorgho sont de moins en moins développées à mesure qu'elles s'approchent davantage de l'inflorescence. Toutefois, tandis que dans beaucoup de plantes les feuilles passent insensiblement aux bractées à l'aisselle desquelles se développent les pédoncules floraux, dans la plante qui nous occupe, les feuilles disparaissent tout à coup par avortement et ne laissent, comme nous l'avons constaté, que la trace de leur limbe, représentée par des poils. On trouve à la base de l'inflorescence ordinairement une de ces traces, et quelquefois deux l'une au-dessus de l'autre et alternes. Ces deux feuilles avortées sont ordinairement stériles, mais quelquefois il se développe l'aisselle de la supérieure un petit rameau qui porte quelques épillets. Cette observation me semble de nature à faire comprendre l'origine des semi-verticilles de rameaux secondaires que l'on rencontre un peu plus haut. En effet, les feuilles continuant à alterner et à avorter, donnent naissance, chacune à leur aisselle, à une série de rameaux semblables à celui dont nous venons de parler, mais plus ou moins développés. Les poils que nous avons remarqués à leur base ne sont autre chose que les traces du limbe avorté de la feuille mère. Les points d'émergence de ces rameaux se disposent d'une façon un peu irrégulière, parce que la

compression qui a lieu dans la gaîne, enveloppe de l'inflorescence, détermine une soudure plus ou moins étendue des axes secondaires avec le principal. Ce mode de ramification qui rend compte de la disposition semi-verticillée, de l'alternance des semi-verticilles et même des irrégularités de cette disposition, se reproduit d'ailleurs sur les rameaux secondaires. Ceux-ci portent à la base de chaque ramuscule tertiaire un petit pinceau de poils, indiquant, comme sur l'axe principal, la trace d'un avortement bractéal. Les choses se passent de la sorte jusqu'à la base de l'épillet dont la bractée mère se développe et forme la glume.

S'il en est réellement ainsi, l'ordre d'apparition et de développement des rameaux secondaires de l'inflorescence doit être le même que celui des ramifications de la tige elle-même; c'est-à-dire que les plus élevés doivent être les premiers à apparaître. C'est, en effet, ce qu'on observe si l'on dissèque une inflorescence rudimentaire. On trouve les épillets d'autant plus formés que les rameaux qui les portent sont plus rapprochés du sommet. Il en résulte nécessairement que la floraison générale doit être centrifuge, et c'est en effet ce que constate l'observation.

La conséquence de ces considérations me paraît être que le sorgho possède une inflorescence définie, formée par des groupes alternes de rameaux, naissant à l'aisselle de bractées avortées dont la disposition sur les axes de

l'inflorescence est la même que celle des feuilles sur la tige.

C'est là un mode de formation, *sui generis*, commun à un certain nombre de graminées et auquel le nom de panicule employé par quelques botanistes ne peut en aucune façon convenir, puisque, selon les définitions acceptées, la panicule est une forme particulière de la grappe, type des inflorescences indéfinies[1].

2° Disposition des épillets.

Les épillets se rencontrent à l'extrémité des ramuscules de l'inflorescence, soit seuls, soit au nombre de deux, trois ou quatre, le plus ordinairement trois, fertiles, portés sur un rachis où ils sont sessiles (fig. 4 et fig. 5). L'épillet fertile unique ou terminal de ce système es accompagné de deux épillets stériles, presque latéraux (fig. 7). Les autres, au contraire, ne sont accompagnés que d'un seul épillet stérile (fig. 6). Ces épillets stériles sont portés chacun sur un court pédicelle partant du point même du rachis où s'atta-

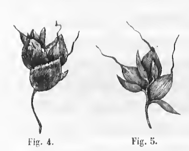


Fig. 4. Fig. 5.

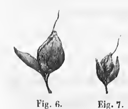


Fig. 6. Fig. 7.

[1] Voir de Candolle, *Théorie élémentaire de la Botanique*, page 359.

che la base de l'épillet fertile et par conséquent de l'extrémité du rachis s'il s'agit des deux satellites du fertile terminal.

Pourquoi un seul stérile accolé à chacun des fertiles latéraux et deux au terminal? Est-ce là un fait isolé, une exception aux lois générales, ou faut-il plutôt y voir un caractère propre à certaines plantes graminées et soumis à quelque loi morphologique spéciale?

L'étude attentive de la position occupée par les pédoncules des épillets stériles, aidée de l'examen des bractées qui enveloppent l'épillet fertile, doit nous conduire à la solution de cette question délicate.

Au premier abord, il semble que l'organe brun corné et bivalve que l'on observe, à la maturité, à la base de la graine, soit une glume bivalve ordinaire. Beaucoup d'auteurs l'ont effectivement pris pour tel. Si toutefois on y regarde de près, il est facile de s'apercevoir qu'il n'en est rien. Tandis, en effet, que, dans toutes les glumes complètes, la valve inférieure offre toujours un nombre de nervures moindre ou tout au plus égal à celui de la supérieure, ici l'on observe, au contraire, que la valve inférieure enveloppante a beaucoup plus de nervures que la supérieure enveloppée[1]. Cette dernière n'est donc point une valve de la glume, mais bien une paillette de la fleur inférieure de l'épillet.

[1] Voir Raspail, *Mémoires sur les graminées* (Paris, 1825), 2e mémoire, page 12.

Cette considération réduit la glume à la seule valve formée par la bractée enveloppante; il reste donc à découvrir ce qu'est devenue la seconde valve de la glume. A-t-elle simplement avorté? S'est-elle au contraire transformée en d'autres organes comme cela arrive si fréquemment dans les végétaux ? Si cette dernière hypothèse est vraie, les organes auxquels elle a pu donner naissance, doivent se rencontrer exactement à la place qu'elle occuperait elle-même si elle existait; or, on trouve cette place justement remplie par l'ensemble du rachis et du pédicelle de l'épillet stérile qui font face à la valve subsistante et, partant tous deux de la même hauteur, se présentent comme le produit du dédoublement latéral de la valve inférieure de la glume. Ainsi donc la glume du sorgho serait complète. Sa valve inférieure se dédoublerait latéralement en deux axes. L'un d'eux serait terminé par un épillet stérile. Le second ne serait autre que le rachis qui doit porter plus haut une seconde glume bivalve qui reproduira la même transformation et ainsi de suite jusqu'à l'épillet terminal. Ici la nécessité d'un rachis ne se faisant plus sentir, les deux axes provenant du dédoublement de la valve inférieure de la glume se termineront comme nous l'avons observé par deux épillets stériles.

Cette théorie morphologique de la constitution de l'épi du sorgho n'est autre chose qu'une application à l'étude de la plante qui m'occupe des idées si originales et si justes émises par M. Raspail dans ses mémoires

sur les graminées[1]. Ces mêmes considérations nous conduisent à donner, comme je viens de le faire, le nom d'épi au groupe d'épillets dont la description précède. Toutefois en adoptant cette dénomination consacrée par l'usage, nous remarquerons qu'elle n'offre ici que le sens spécial indiqué par la définition qu'en donne M. Raspail, et non celui que l'organographie lui attache ordinairement.

Nous avons remarqué plus haut que la floraison générale était centrifuge. Si ce que je viens d'exposer est l'expression de la vérité, il doit en être différemment de celle de l'épi, car ici les épillets inférieurs sont de génération antérieure aux supérieurs et doivent par conséquent fleurir les premiers. C'est en effet ce que constate l'observation.

L'inflorescence centrifuge du sorgho se compose donc, en définitive, d'un grand nombre de petits épis centripètes groupés sur des rameaux dont j'ai décrit précédemment les dispositions.

Le port de cette inflorescence est remarquable; son axe principal parfaitement lisse (*lævis*) est constamment dressé (*erectus*). Ses rameaux secondaires également lisses sont d'abord dressés comme lui et produisent une masse de forme ovoïde (fig. 3). Mais à la maturité les rameaux divergent et se réfléchissent en dehors au point de devenir horizontaux et même un peu

[1] Voir Raspail, *Mémoires sur la famille des graminées* (Paris, 1825); 2e mémoire, pages 6 et suivantes.

pendants. (*Racemis patentissimis, horizontalibus, subpendulis*, Lin.)

6. Épillet et fleur.

1° *L'épillet fertile.* — L'épillet fertile du sorgho sucré se compose essentiellement d'une valve de la glume et de trois fleurs dont une seule fertile ordinairement et quelquefois deux, mais fort rarement.

La valve de la glume est l'organe inférieur et extérieur de l'épillet, celui qui enveloppe tous les autres. Sa forme est globuleuse, son sommet subtridenté; sa consistance est épaisse et cornée. Ses bords et sa partie dorsale supérieure sont couverts de poils, sa couleur d'abord verte brunit peu à peu par l'injection d'une matière colorante rouge dont la quantité va tellement croissant qu'à la maturité des graines la glume est complétement noire. Ses dimensions ordinaires sont de 4 millimètres de large sur 5 millimètres de longueur; elle offre de 15 à 20 nervures également distantes, facilement visibles dans sa jeunesse à un grossissement de 25 à 30 diamètres. Cet organe contient et enveloppe tous les autres; il est indiqué en A dans le diagrame (fig. 8).

Du côté opposé à la glume univalve A et par conséquent adossée au rachis R, on trouve une bractée B présentant avec la glume A une grande analogie de nature et de forme, mais un peu plus petite et enveloppée par la précédente. Elle est, comme elle, fortement colorée

en brun noirâtre à la maturité. Cette écaille a été généralement considérée, par les auteurs, comme la seconde valve de la glume qui était alors bivalve. Nous avons vu précédemment que la seconde valve de la glume était réellement la valve A, tandis que la première avait donné naissance par son dédoublement au rachis R et au pédicelle de l'épillet stérile S. Nous sommes donc forcément conduits à considérer l'écaille B comme la seule paillette existante de la première fleur de l'épillet fertile. Nous la désignerons conséquemment sous le nom de *fleur unipaléacée scarieuse*.

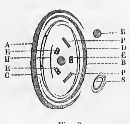


Fig. 8.

Cette interprétation morphologique est d'ailleurs vérifiée, comme nous l'avons remarqué plus haut, par ses nervures toujours en nombre moindre que celles de la valve A ; tandis qu'elles devraient être plus nombreuses si cette paillette faisait partie de la glume.

M. Raspail qui le premier a reconnu l'erreur des botanistes à cet égard, a cru devoir néanmoins conserver les dénominations reçues et désigner comme d'habitude l'épillet des Andropogons par l'épithète de biflore[1]. Il est évident, d'après ce que nous avons dit, que cette dénomination doit être abandonnée et remplacée par celle

[1] Raspail, 3e mémoire, page 20. (*Mémoires sur les graminées*. Paris, 1825.)

de triflore qui fait rentrer la paillette scarieuse B au nombre des fleurs de l'épillet.

Opposée à la première fleur unipaléacée B et par conséquent superposée à la valve persistante de la glume, se trouve une seconde fleur unipaléacée C, représentée par une paillette membraneuse, fort mince, hyaline, laciniée sur ses bords et marquée de deux nervures saillantes et opaques (fig. 9). Cette fleur est ordinairement stérile. Cependant on rencontre quelques exemples de sa fertilité. Il est probable qu'alors la fleur possède avec son ovaire des étamines et des paillettes qui la complètent plus ou moins. Cependant n'ayant rencontré d'exemples de cette fertilité qu'à la maturité, je ne puis rien affirmer à cet égard (fig. 10 et 11).



Fig 9.



Fig. 10. Fig. 11.

Au centre des deux fleurs unipaléacées se trouve enfin une fleur fertile et complète présentant les organes suivants :

1° Une paillette (glumelle) D, membraneuse, hyaline, à bords laciniés, bifide au sommet et aristée entre les lobes (fig. 12). Ce caractère est très-important. C'est lui qui a servi à séparer les sorghos des andropogons, dont la paillette aristée est entière. L'arête est longue, exserte et plusieurs fois tordue sur elle-même.

Fig. 12.

2° Une seconde paillette (glumelle) H, opposée à la première, fort petite, membraneuse et hyaline, laciniée

sur ses bords, anerve, mais bifide au sommet (fig. 13).

3° Deux paléoles (glumellules) P, tronquées, cunéiformes, charnues, garnies de poils sur leur bord supérieur et surtout sur leurs angles (fig. 13). Elles sont surperposées à la paillette imparinerviée D.

Fig. 13.

4° Trois étamines E, à filets grêles insérés : l'un entre les deux paléoles et opposé par conséquent à la paillette anerve H, les deux autres latéralement et opposés, par conséquent, à la paillette imparinerviée D. Ces filets portent des anthères jaunes, hastées, basifixes et biloculaires. Leur déhiscence a lieu au sommet des loges par une fente latérale de peu d'étendue. Au moment de la fécondation, les anthères sortent au dehors pour effectuer leur déhiscence, puis se détachent du filet, qui se flétrit ensuite peu à peu.

5° Un ovaire libre, uniloculaire, à placentation centrale, surmonté de deux styles à stigmates longs, plumeux, épars et caducs (fig. 14).

Fig. 14.

6° Dans cet ovaire on trouve, comme chez toutes les graminées, un très-petit ovule anatrope muni d'un embryon latéral et monicotylédoné.

2° *L'épillet stérile.* — L'épillet stérile qui accompagne tout épillet fertile est porté sur un court pédicelle latéral au rachis et provenant comme lui du dédoublement de la valve inférieure de la glume. Sur ce pédi-

celle on trouve une bractée scarieuse extérieure, représentant une valve de la glume, une fleur unipaléacée scarieuse distique avec la glume; et entre les deux, pressant du dos la bractée extérieure, une fleur unipaléacée membraneuse, hyaline et binerviée. L'épillet stérile est donc la reproduction exacte de l'épillet fertile, dans lequel on aurait supprimé la fleur fertile terminale.

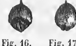
7. Fruit.

Par suite des développements qui succèdent à la fécondation, plusieurs changements importants viennent modifier la description que nous avons donnée plus haut de la fleur fertile. Les étamines tombées ne laissent persister que la base de leurs filets.

Les paillettes et les paléoles s'injectent plus ou moins de la même matière colorante qui remplit la glume et la fleur unipaléacée scarieuse. L'ovaire s'accroît et conserve à son sommet la trace des styles sous la forme d'un point noir et saillant. Il reste toutefois enfermé entre la glume et la fleur unipaléacée scarieuse, qui s'entr'ouvrent seulement un peu vers la partie supérieure pour laisser sortir son extrémité. Celle-ci, à la maturité, dépasse les enveloppes d'environ un tiers de leur longueur (fig. 15). L'ovaire forme alors un péricarpe membraneux immédiatement appliqué sur l'ovule devenu graine. L'ovule s'est, en effet, accru en même temps

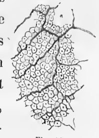
Fig. 15.

que l'ovaire ; il n'a cessé d'en remplir la cavité. Le fruit qui en résulte est, à la maturité, légèrement oblong, presque sphérique, et porte une légère dépression vers le hile, du côté opposé à l'embryon, qui fait lui-même une légère saillie (fig. 16 et 17).


Fig. 16. Fig. 17.

Le péricarpe présente une coloration jaune rougeâtre, ferrugineuse, assez intense à l'état sec. Si on l'enlève avec précaution, on trouve au-dessous l'épisperme de la graine coloré d'une manière encore plus intense et de la même couleur. Enfin, au-dessous de cet épisperme on remarque un albumen d'une blancheur parfaite, corné et très-résistant à la périphérie, plus farineux vers le centre.

Au microscope on trouve cet endosperme formé de grandes cellules polyédriques contenant un grand nombre de grains d'amidon, serrés les uns contre les autres et agglutinés par une substance albuminoïde (fig. 18). Ces grains d'amidon sont fort petits, d'un diamètre qui varie entre $0^{mm},005$ et $0^{mm},020$. Ils sont souvent polyédriques, surtout quand ils proviennent de la périphérie où ils sont plus serrés. Au centre ils sont ordinairement sphériques. Leur surface est marquée d'un hile en croix.


Fig. 18.

8. Résumé des paragraphes précédents.

Le sorgho sucré, que nous venons de décrire longuement, est donc en définitive la variété à glumes noires de l'espèce *Sorghum saccharatum*, du genre *Sorghum*, de la tribu des *Andropogonées*, de la famille des *Graminées*.

1° Caractères du genre Sorghum.

Inflorescence centrifuge composée d'épis centripètes. Épillets triflores. Glume univalve. Fleur inférieure unipaléacée, glumiforme. Fleur moyenne unipaléacée, membraneuse. Fleur supérieure hermaphrodite. *Paillette inférieure hyaline, bilobée et aristée entre les lobes.* Arête longue, tordue et exserte. Paillette supérieure anerve et hyaline. Paléoles charnues, tronquées et cunéiformes à bord supérieur garni de poils plus longs vers les angles. Étamines 3. Styles 2. Stigmates longs et épars. Épillets latéraux accompagnés chacun d'un épillet stérile et les terminaux de deux épillets stériles.

Ce genre est très-voisin de plusieurs autres appartenant à la même tribu :

1° Du genre *Andropogon*, qui s'en distingue par sa paillette inférieure aristée comme dans les sorghos, mais entière au lieu d'être bilobée;

2° Du genre *Saccharum* (canne à sucre), qui en dif-

fère par l'existence d'un involucre pileux à la base de l'épillet.

Quant au genre *Holcus*, il s'en éloigne par des caractères beaucoup plus importants. Sa glume est bivalve et ne renferme que deux fleurs, dont une hermaphrodite, l'inférieure, et l'autre, la supérieure, mâle. Les paléoles sont entières. Ce genre ne fait même partie, pour aucun botaniste moderne, de la tribu des Andropogonées, et nous n'en parlons ici que pour réfuter l'erreur de quelques auteurs qui ont cru devoir conserver au sorgho sucré le nom de *Holcus saccharatus* que lui avait donné Linnée.

2° Caractères de l'espèce *Sorghum saccharatum*.

Hauteur de $1^m,50$ à 3^m. Inflorescence à rameaux subverticillés, lâches, dressés dans la jeunesse, horizontaux et même un peu pendants à la maturité. Glumes pileuses, noires à la maturité. Semences ovoïdes presque sphériques, portant un point noir saillant à la place des styles.

Je regrette de n'avoir pu me procurer des échantillons des diverses variétés aujourd'hui connues, pour en déterminer les caractères différentiels; mais j'ai dû renoncer à cette étude, qui m'eût entraîné beaucoup trop loin de ma spécialité.

CHAPITRE II

CULTURE DU SORGHO SUCRÉ

1. Opérations agricoles.

La culture du sorgho sucré se dirige d'une manière différente, suivant qu'on le destine à être employé comme fourrage ou à servir de matière première à l'industrie.

Comme fourrage le sorgho rend aujourd'hui d'importants services à un grand nombre d'agriculteurs français; sa culture est donc parfaitement connue, et par conséquent je n'en parlerai pas ici. Mes études personnelles n'ayant d'ailleurs porté que sur la culture au point de vue industriel, je dois me restreindre à envisager cette seule face de la question.

Le sorgho que l'on destine à l'industrie doit être semé à la sortie de l'hiver, aussitôt que les gelées ne sont plus à craindre; c'est-à-dire, suivant le climat, de la fin de mars au commencement de mai. Il importe qu'il soit semé le plus tôt possible, afin qu'il puisse amener ses

graines à maturité avant les premiers froids. A Paris, il ne mûrit que très-rarement. A Valence (Drôme), où j'ai exécuté la plupart de mes expériences, le sorgho semé en avril mûrit en septembre et octobre. Sa végétation dure environ cinq mois Elle peut être un peu plus rapide sous des climats plus chauds.

La graine employée au semis doit être de l'année précédente, sans quoi elle lève mal et ne fournit qu'une végétation chétive. Simplement mise en terre, sans préparation préalable, elle ne germe que très-lentement et ne produit qu'un semis irrégulier. Les semences, en effet, ne sont presque jamais également mûres. Il s'en trouve toujours provenant des ramifications inférieures de l'inflorescence, qui, au moment de la récolte, n'étaient pas suffisamment avancées et par conséquent ne germent pas. Celles même qui ont atteint leur maturité parfaite étant devenues, par la dessiccation, fortement cornées et difficilement pénétrables à l'eau, ne germent que fort lentement quand elles ne disposent que de l'humidité ordinaire du sol. Cette difficulté de pénétration se trouve considérablement accrue par la glume et les bales qui préservent efficacement la graine de l'humidité. On obvie à cet inconvénient en faisant tremper les semences pendant deux ou trois jours dans de l'eau à 25 ou 30 degrés de température. Lorsque les radicules commencent à se montrer sous forme d'un point blanc à la base, on sème en ayant soin de mettre 4 ou 5 graines dans chaque trou. Ceux-ci doivent être

espacés d'environ 60 centimètres dans tous les sens. Le semis sera à peine recouvert et la terre devra rester constamment humide pendant les 15 ou 20 premiers jours.

Le sol que l'on destine au sorgho doit être ameubli par un labour profond et uni à la herse. Les graines sont ensuite déposées au fond de petits creux de 4 ou 5 centimètres de profondeur. Cette disposition, qui est la plus ordinaire, convient aux contrées où l'on a peu à redouter l'action des vents. Dans le cas contraire il faut prendre quelques précautions pour empêcher les vents d'automne de déraciner les plantes. A cet effet on a conseillé le buttage; mais encore doit-il, pour qu'il soit efficace, être exécuté d'une manière particulière. On dispose le sol en billons de 30 à 40 centimètres de hauteur et espacés de 60 centimètres. On sème alors dans les sillons, et lorsque la plante est arrivée à un mètre de hauteur, on abat le billon de manière à butter les plantes sans creuser un fossé entre leurs lignes, ce qui diminuerait la résistance du sol au lieu de l'augmenter. La terre qui vient ainsi recouvrir les nœuds inférieurs de la tige, y favorise le développement des racines adventives dont j'ai parlé dans la description botanique, et la plante acquiert une plus grande solidité.

Lorsque la première feuille qui se montre au dehors est parvenue à 2 ou 3 centimètres de hauteur, déjà la plante possède de longues radicelles qui la préservent de la sécheresse en allant chercher profondément l'hu-

midité du sol. On peut donc dès lors se dispenser d'arroser, pour peu que la saison soit favorable.

Les tiges une fois arrivées à la hauteur de 25 ou 30 centimètres, on coupe à chaque touffe tous les rejetons les plus jeunes, de manière à ne laisser que les quatre à cinq plus belles tiges. Cette opération doit être renouvelée plusieurs fois pendant la durée de la culture, sans quoi les plantes se trouvent épuisées par des rejetons qui, ne pouvant arriver à maturité, absorbent, en pure perte, une partie des aliments dont le sol dispose[1].

Pendant la jeunesse des sorghos il importe de les tenir parfaitement sarclés, car les mauvaises herbes ont alors sur eux une influence des plus fâcheuses. Plus tard, lorsque leurs tiges s'élèvent à un mètre environ, ce soin devient inutile, car alors les rôles se trouvent intervertis et les plantes étrangères sont bientôt étouffées par le sorgho dont les racines ont envahi le sol.

Lorsque la culture a été conduite comme je viens de l'indiquer, on obtient des cannes bien égales et dont la maturité a lieu presque en même temps. Il est alors possible de les récolter en masses.

Dans les contrées où la saison chaude est assez étendue, il serait bon d'échelonner 4 à 5 semis de huit en huit jours, de manière à obtenir la récolte en plusieurs portions. On échapperait partiellement ainsi à la nécessité de travailler immédiatement d'immenses quantités

[1] Cette pratique très-importante a déjà été conseillée par M. Leplay dans une brochure publiée en 1858.

de cannes, et en prolongeant la durée de la campagne on pourrait en diminuer les frais.

On voit, par ce qui précède, que la culture du sorgho ne présente pas de bien grandes difficultés pratiques. Mais, avant de la conseiller aux agriculteurs, il est un autre point très-important et encore très-controversé qu'il est indispensable d'examiner avec soin.

La culture du sorgho peut-elle être profitable à l'agriculture? Ou, en d'autres termes, le produit compense-t-il, avec bénéfice, les pertes que la plante fait éprouver au sol?

Quelques personnes ont rangé le sorgho parmi les plantes les plus épuisantes. D'autres, contestant l'affirmation des premières, lui ont, au contraire, attribué des propriétés améliorantes. Toutefois, je ne sache pas que jusqu'ici personne ait apporté des résultats numériques à l'appui de son opinion; et tant que, sur ce point, nous n'aurons pas l'avis des chiffres, la discussion ne pourra être close définitivement.

Bien que mes renseignements soient encore fort incomplets, j'essayerai néanmoins de traiter la question, en ne donnant toutefois mes nombres qu'à titre d'éléments provisoires.

2. Rendement des récoltes.

Avant tout il importe de connaître la quantité de matière végétale que produit une culture de sorgho. Si

l'on interroge sur ce point les divers agriculteurs qui se sont occupés de cette plante, on remarque parmi eux un désaccord considérable.

J'ai réuni dans le tableau suivant quelques évaluations extraites des diverses publications qui ont paru sur la matière :

RENDEMENT A L'HECTARE [1].

OBSERVATEURS.	LIEU DE PROVENANCE.	RENDEMENT EN CANNES.	RENDEMENT EN GRAINES.	RENDEMENT EN FEUILLES.
MM. Hardy.	Alger.	83,000k	3,600k	20,000k
Wray. . . .	?	73,000	1,430	?
Sicard.	Marseille,	31,509	3,078	?
Itier.	?	42,775	3,533	?
Hétet.	?	30,000	7,200	?
Valarinos. . .	?	96,000	9,000	?
Turrel.	Toulon.	?	3,500	?
Cassoyrol.. . .	Mas-Grenier.	42,000	?	?
Pailhez.. . . .	Carcassonne.	40,000	?	?
Cazano.	Narbonne.	37,000	?	?
Coulopis. . . .	?	45,600	?	?
Alamoly. . . .	?	40,000	?	?
Vilmorin. . . .	Paris.	28,500	?	?
Heuzé.	Id.	90,000	3,025	?
Moyenne.		52,260k	4,270k	20,000k

Ce tableau nous montre de très-grandes variations suivant les diverses provenances. Nous en tirerons tout d'abord cette conclusion que le sorgho est très-sensible aux différences de conditions dans lesquelles il est cultivé, et que, par conséquent, il y aurait un grand intérêt

[1] Voir les nos 11, 12 et 13, année 1856-57, de l'*Agriculteur praticien*, articles de M. Paul Madinier. Voir *Le Sorgho sucré*, brochure par Louis Hervé, 1858.

à déterminer les circonstances qui lui sont le plus favorables. L'exposé qui suit donnera une idée de la manière dont ce problème agricole peut être abordé et résolu.

Les rendements inscrits au tableau ci-dessus nous conduisent à une moyenne de 52,260 kilogrammes de cannes fraîches à l'hectare, soit, en nombre rond, 50,000 kilogrammes. Ce sera le nombre que j'adopterai comme base de calcul, espérant ainsi me rapprocher beaucoup de la vérité pratique.

Si, pour les récoltes où le poids des graines est indiqué, on rapporte ce poids à une quantité fixe de tiges, 100 kilogrammes par exemple, on trouve que, pour 100 kilogrammes de tiges, il y a, chez

MM. Hardy, graines.	4k537
Wray, id..	1,958
Sicard, id.	9,668
Itier, id.	7,791
Hétet, id.	24,000
Valarinos, id.	9,375
En moyenne. . . .	9k521

Je suis arrivé moi-même aux résultats suivants :

En 1859, quatre pesées ont été effectuées sur des cannes récoltées à Paris, et dont les graines étaient néanmoins arrivées à maturité.

PESÉES.	CANNES.	GRAINES.	GRAINES °/₀ DE CANNES.
1re	470gr	80gr,98	17,22
2e	285	73, 44	25,76
3e	246	37, 40	14,61
4e	315	57, 80	18,35
		Moyenne. . . .	18,98

En 1862, j'ai pesé sept récoltes de plantes mûres provenant d'une culture faite à Valence (Drôme).

PESÉES.	CANNES.	GRAINES.	GRAINES % DE CANNES.
Nos 1	177gr	52gr,36	29,58
2	152	66, 64	43,84
3	120	63, 24	52,70
4	375	127, 84	34,09
5	243	87, 72	36,09
6	1064	418, 20	39,30
7	1224	526, 32	43,00
		Moyenne. . . .	39,80

On voit par les deux derniers tableaux que le rendement en graines du sorgho sucré, comparé à son rendement en tiges, présente de grandes variations d'une récolte à l'autre, et même dans la récolte d'une même année. Dans la réalité, ces variations sont probablement moins fortes qu'elles ne le paraissent ici. Les graines, en effet, au moment où on les récolte, contiennent plus ou moins d'eau, suivant qu'on les a laissées plus ou moins longtemps sur la plante exposées aux ardeurs du soleil, après leur parfaite maturité. Il suit de là que, pour évaluer les différences réelles de la production, il faudrait, pour chaque résultat des tableaux précédents, connaître le poids des graines séchées à 110°. Malheureusement ce travail n'a été fait que dans le seul cas du n° 6 du second tableau ; en voici le résultat :

Les graines séchées à 110° perdent 43,52 pour 100 de leur poids. Il reste donc en matière sèche 56,48 pour 100. Les 39,80 de graines du tableau se rédui-

sent donc à 21,19 de graines sèches, pour le seul cas où j'aie pu me procurer ce document. Ce résultat se rapproche beaucoup de celui de M. Hétet. Je ferai toutefois observer que ce chiffre, adopté comme base de calcul pour obtenir le rendement moyen à l'hectare, serait beaucoup trop fort. Pour le déterminer, en effet, je n'ai eu égard qu'à quelques tiges choisies, munies chacune d'épis parfaitement mûrs. Mais, dans la récolte d'un hectare, il n'en est point ainsi. Un certain nombre de tiges n'arrive pas à maturité, et ne produit pas de graines; dans les inflorescences, beaucoup de graines avortent, et par conséquent pèsent moins. Si l'on estime à 50 pour 100 la réduction à faire en vue de ces deux considérations, on arrivera au nombre 10,59, qui n'est guère éloigné du nombre 9,52 que nous avons obtenu comme moyenne de la pratique en grand. Je ne pense donc pas m'éloigner beaucoup de la vérité en admettant qu'en moyenne 100 kilogrammes de tiges de sorgho fraîches produisent 10 kilogrammes de graines sèches, soit, pour le rendement à l'hectare, 5,000 kilogrammes.

Je ne me dissimule pas l'insuffisance de pareilles déterminations; mais, dans l'impossibilité de faire moi-même une culture assez étendue, j'ai dû me contenter de ces chiffres probables. J'espère qu'à la vue de ces tâtonnements les agriculteurs comprendront l'importance qu'ils devraient attacher à des déterminations précises, et combien il serait nécessaire, quand on publie des ren-

dements agricoles, de joindre aux chiffres trouvés l'évaluation de l'eau contenue dans les plantes au moment de la pesée.

Si le rendement en graines a présenté quelques difficultés et ne mérite qu'une confiance limitée, il le cède encore de beaucoup en incertitude au rendement en feuilles. Celui-ci, en effet, n'a encore été indiqué, à ma connaissance, que par un seul auteur, comme on le voit dans le tableau des rendements. M. Hardy a obtenu de ses 83,000 kilogrammes de tiges 20,000 kilogrammes de feuilles, qui, par la dessiccation, se sont réduits à 6,000 kilogrammes. Il s'agit probablement d'une dessiccation au soleil, qui laisse encore dans cette sorte de fourrage environ 10 pour 100 d'eau.

En calculant, d'après ces données, le produit en feuilles de 100 kilogrammes de tiges, on trouve :

$24^{k}09$ de feuilles fraîches,
ou 7,23 de feuilles fourrage,
ou 6,50 de feuilles absolument sèches.

Comme pour les graines, j'ai essayé de vérifier ce résultat par des pesées faites sur des cannes choisies. Voici les nombres obtenus :

	CANNES.	FEUILLES VERTES.	% DE CANNES.
1°	120^{gr}	57,50	47,91
2°	1064	1031,00	96,89

Dans les deux cas, on a repesé les feuilles après dessiccation au soleil, ce qui a donné :

Pour le n° 1.	18gr,57
Pour le n° 2.	172, 02

On a ensuite déterminé l'eau dans les deux produits, et l'on en a trouvé :

Dans le n° 1.	7,25 %
Dans le n° 2.	11,50 %

Les 18gr,57 du n° 1 se réduisent donc à 17gr,23 de matière sèche, et les 172gr,02 du n° 2 se réduisent à 152gr,24 de matière sèche, par la déduction de l'eau contenue. Si l'on rapporte à 100 kilogrammes de tiges ces deux quantités, on trouve, en définitive :

N° 1	Tiges	120	Feuilles sèches	17,23	Feuilles sèches %	de tiges	14,36
N° 2	Id.	1064	Id.	152,24	Id.	Id.	14,31

On voit que le désaccord qui apparaissait considérable entre les produits frais disparaît entièrement entre les produits secs, puisque les deux résultats sont identiques. On trouve là une preuve de plus en faveur de la nécessité de déterminer l'état hygrométrique des substances végétales que l'on soumet à la pesée, puisque la quantité d'eau qu'elles renferment est sujette à de très-grandes variations.

Si nous considérons pour les feuilles, comme nous l'avons fait pour les graines, qu'il y a lieu de réduire de moitié ce rendement lorsqu'il s'agit d'une culture étendue, à cause des tiges qui, ne parvenant pas à maturité, produisent moins de feuilles, on arrive au chiffre

7k,17 de feuilles sèches pour 100 kilogrammes de tiges, chiffre très-rapproché de celui que nous avons déduit des nombres de M. Hardy. En adoptant donc 7 p. 100 comme base de calcul, je ne crois pas m'éloigner beaucoup de la vérité. On est ainsi conduit à admettre, pour un hectare produisant 50,000 kilogrammes de tiges, un rendement moyen de 3,500 kilogrammes de feuilles sèches.

Joignons à ces documents la détermination de l'eau contenue dans les tiges fraîches arrivées à maturité, et nous aurons tous les éléments nécessaires à l'évaluation de la matière végétale que produit en moyenne un hectare de terre cultivée en sorgho.

M. Leplay indique de 70 à 73 p. 100 d'eau dans les tiges mûres. J'ai moi-même exécuté plusieurs déterminations, dont voici les résultats :

	EAU DANS 100 PARTIES.	
1°	71,88	Moyenne, 72,73 %.
2°	75,14	
3°	75,81	
4°	72,19	
5°	72,86	
6°	69,85	
7°	71,41	

Dans 50,000 kilogrammes de tiges fraîches il y a donc 36,365 kilogrammes d'eau; reste 13,635 kilogrammes de matière sèche.

Les rendements d'un hectare se trouvent donc, en définitive, exprimés par les chiffres suivants :

Tiges fraîches. . .	50000k,	sèches. . .	13635k
Graines	—	id. . . .	5000
Feuilles	—	id. . . .	3500
		Matière végétale totale. . . .	22135k

Voici, d'après M. Boussingault, les rendements des principales cultures calculés pour un hectare.

NOMS DES PLANTES.	RÉCOLTE FRAICHE.		RÉCOLTE SÈCHE.	
Pommes de terre (tub.).	. . . .	12,800k	. . . .	3,085k
Froment.	Grains. . 1,343k Paille. . 3,052	4,395	Grains. . 1,148k Paille . . 2,258	3,406
Trèfle..	. . . .	5,100	. . . .	4,029
Navets.	. . . .	9,550	. . . .	716
Aveine.	Paille. . 1,800 Grains. . 1,344	3,144	Paille . . 1,283 Grains. . 1,064	2,347
Seigle.	Grains. . 1,679 Paille. . 3,731	5,410	Grains. . 1,394 Paille. . 3,033	4,427
Pois..	Grains. . 1,092 Paille. . 2,790	3,882	Grains. . 998 Paille . . 2,461	3,459
Topinambours.	Racines. 26,440 Tiges . . 14,100	40,840	Racines . 5,500 Tiges . . 12,271	17,771 [1]
Bette aves.	Racines. 26,000 Feuilles. 18,248	44,248	Racines . 3,172 Feuilles. 2,043	5,215

Ce tableau montre que le sorgho l'emporte de beaucoup sur toutes les plantes de la grande culture par la quantité de matière végétale qu'il est susceptible de produire sur une superficie donnée. Toutefois sa supériorité sur la betterave n'est pas aussi forte que l'indique le précédent tableau. La récolte de 26,000 kilogrammes de racines fraîches obtenue par M. Boussingault dans

[1] Le résultat des topinambours a été obtenu en prenant la moitié de celui que donne M. Boussingault pour deux ans.

son domaine de Becchelbron est en effet très-inférieure au rendement que l'on obtient ordinairement dans la culture sucrière, et que l'on évalue en moyenne à 50,000 kilogrammes.

Voici d'ailleurs les résultats d'une expérience faite à Corbeheim (Pas-de-Calais), par M. Voussen, sur les indications de mon savant maître et ami M. Georges Ville.

L'expérience a été exécutée sur une superficie de trois ares, c'est-à-dire sur une étendue assez importante pour que l'on puisse considérer le résultat comme agricole.

Le sol avait reçu comme engrais minéral une fritte composée de :

Phosphate de chaux.	16k
Potasse.	8
Silice.	8

et comme engrais azoté, 19 kilogrammes de nitrate de soude.

La récolte en racines a été de 1,899 kilogrammes, soit, pour un hectare, de 63,300 kilogrammes.

Ce chiffre même peut être de beaucoup dépassé comme on le voit dans les expériences si intéressantes faites par M. G. Ville lui-même au champ d'expériences agricoles de Vincennes. Le rendement obtenu en 1861 sur la parcelle de terrain qui avait reçu une fumure complète correspondait à

Racines fraîches.	89530k	à l'hectare.
Feuilles fraîches.	17600	id.
Somme. . . .	107130k	à l'hectare.

Par une dessiccation suffisante pour amener ces matières à un état de facile conservation, ces chiffres sont devenus :

Racines demi-sèches.	12310k
Feuilles demi-sèches.	1293
Somme. . . .	13603k

M. G. Ville ayant eu l'obligeance de me confier des échantillons de ces récoltes obtenues dans des conditions de sol et d'engrais parfaitement définies, j'ai pu les soumettre à l'analyse et il ne sera pas sans intérêt de comparer ici les résultats que j'en ai obtenus avec ceux que m'a fournis le sorgho.

En déterminant l'eau restée dans ces matières demi-sèches, on trouve :

Pour les racines.	15,85 %
Pour les feuilles.	19,00 %

Si l'on retranche des récoltes demi-sèches l'eau qu'elles renferment, évaluée au moyen de ces données, on trouve que les récoltes absolument sèches se réduisent à :

Racines.	10359k,865gr
Feuilles.	1047 330
Somme. . . .	11407k,195gr

La totalité de la matière végétale produite par la betterave est donc ici environ la moitié de celle que fournit le sorgho.

Si l'on remarque, en outre, que le rendement en betteraves de M. G. Ville est un maximum, tandis que pour le sorgho j'ai adopté des rendements moyens, il ressortira de la comparaison que le sorgho est près de trois fois plus productif que la betterave si l'on ne prend en considération que la masse de matière végétale sans distinction de nature.

3. Épulsement du sol par le sorgho et par la betterave.

Les éléments qui entrent dans la composition des végétaux sont aujourd'hui parfaitement connus.

On les subdivise en deux groupes :

1° Les éléments organiques, qui sont : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote.

2° Les éléments minéraux, qui sont : le potassium, le sodium, le calcium, le magnésium, le silicium, le chlore, le soufre, le phosphore, le fer et le manganèse.

Parmi les éléments organiques, les trois premiers sont abondamment fournis aux végétaux par l'air et par l'eau, deux sources inépuisables. L'économie agricole n'a donc nullement à s'en occuper. Il n'en est pas de même du quatrième.

1° Épuisement en azote.

L'azote, bien qu'il n'entre dans la composition des plantes que pour une faible proportion relativement aux autres éléments organiques, n'en est pas moins indispensable au développement des végétaux. Il est surtout essentiel à la formation des jeunes tissus et par conséquent à la production du fruit, dernière création de l'activité végétale annuelle. Procurer de l'azote aux cultures, telle est donc, au point de vue des éléments organiques, la constante et la plus impérieuse nécessité agricole.

Ce principe une fois reconnu, le problème de l'origine de l'azote des végétaux se présentait à la science comme la question fondamentale de la physique végétale. C'est pourquoi il fut successivement envisagé par tous les savants qui, depuis Priestley et Théodore de Saussure, se sont appliqués à pénétrer les mystères de la formation des végétaux.

La pratique agricole avait dès longtemps établi l'utilité des engrais azotés; on savait donc qu'une certaine quantité d'azote était empruntée au sol, mais était-ce là sa source unique? Pour s'en assurer, M. Boussingault soumit à l'analyse les diverses récoltes enlevées, pendant une rotation de cinq années, sur un même sol, auquel on avait ajouté une certaine quantité d'engrais dont l'azote était connu. Ce travail conduisit à reconnaître que la récolte renfermait toujours plus d'azote que n'en

avait apporté le fumier. De deux choses l'une : ou l'excédant des récoltes venait d'une provision accumulée dans le sol, ou il fallait en chercher l'origine dans l'atmosphère. La première hypothèse n'étant point admissible, puisque le sol sans engrais était infertile, il fallut bien s'arrêter à la seconde.

Si l'atmosphère fournissait de l'azote aux plantes, il restait à rechercher sous quelle forme et dans quelles conditions. Plusieurs opinions circulaient déjà dans la science à cet égard. Priestley et Ingenhousz avaient cru à l'assimilation de l'azote élémentaire de l'air. Théodore de Saussure les avait réfutés et avait reporté la faculté de fournir de l'azote à la végétation aux vapeurs ammoniacales dont il avait constaté la présence dans l'atmosphère.

Mais les opinions pèsent peu dans la balance de la vérité, et M. Boussingault, sentant le peu de valeur des motifs sur lesquels ces diverses manières de voir étaient appuyées, voulut reprendre la question *ab ovo* et la traiter expérimentalement. Un premier travail, exécuté en 1836, conduisit ce savant à des conclusions qu'il formule en ces termes :

« Les recherches que j'ai entreprises semblent donc établir que, dans plusieurs conditions, certaines plantes sont aptes à puiser de l'azote dans l'air; mais dans quelles circonstances, à quel état l'azote se fixe-t-il dans les végétaux? C'est ce que nous ignorons encore.

« En effet, l'azote peut entrer directement dans leur

organisme si leurs parties vertes sont aptes à le fixer. Cet élément peut encore être porté dans les végétaux par l'eau, toujours aérée, qui est aspirée par leurs racines. Enfin il est possible qu'il existe dans l'air une infiniment petite quantité de vapeurs ammoniacales [1]. »

La timidité et le peu de précision de ces conclusions montraient l'incertitude dans laquelle se trouvait leur auteur et justifiaient l'entreprise de nouveaux travaux conduits de manière à fournir des résultats plus tranchés.

En 1853, M. G. Ville a publié quatre années d'expériences qui le conduisaient à admettre l'assimilation de l'azote atmosphérique.

Les précautions prises par ce savant, aussi habile dans les détails pratiques que sévère dans l'appréciation et la discussion des résultats, donnent à l'ensemble de son travail un degré de certitude encore inaccoutumé dans les recherches de ce genre.

Les plantes expérimentées s'étaient développées dans des conditions normales. Le poids des récoltes sèches s'était élevé jusqu'à 40 fois celui de la semence ; tandis que dans les expériences de M. Boussingault les plantes n'étaient guère sorties de la période de germination, puisque le poids de la récolte dépassait fort peu celui de la graine et même s'était trouvé souvent inférieur. La netteté des résultats obtenus par M. G. Ville appela l'attention de l'Académie des sciences et une commission fut nommée pour soumettre son travail à un contrôle

[1] *Annales de chimie et de physique*, 2e série ; tome LXIX, p. 366.

attentif. M. G. Ville installa de nouvelles expériences et les conduisit sous les yeux de la commission. Le rapport de cette dernière, présenté à l'Académie par M. Chevreul en 1855, fait connaître les résultats obtenus. Ils sont encore nettement favorables à l'opinion de M. G. Ville, et de plus ils expliquent l'insuccès des expérimentateurs qui s'étaient occupés de la question avant lui.

Les expériences furent faites sous une cage vitrée de 150 litres dans laquelle on faisait passer un courant d'air soigneusement débarrassé de toute vapeur ammoniacale et additionné d'une petite quantité d'acide carbonique. On sema, dans des pots contenant du sable calciné, des graines de cresson. Le seul engrais donné à ce sol inerte fut une certaine quantité de cendres de ces mêmes graines, destinée à fournir aux plantes les matières minérales indispensables à leur alimentation. Trois pots, un grand (n° 1) et deux petits (n° 2 et n° 3), furent placés dans la cage vitrée, que l'on ferma hermétiquement. Elle était d'ailleurs disposée de manière à ce que l'arrosement des plantes fût possible sans qu'il fût nécessaire de l'ouvrir.

Les cultures furent entretenues humides au moyen de l'eau distillée, et à la fin de l'expérience on détermina l'azote que contenait l'eau employée et celui de l'eau en excès retirée de la cage après avoir séjourné plus ou moins longtemps sur son fond. L'eau de la cage se trouva en contenir plus que l'eau introduite; on était donc sûr que l'eau n'avait rien fourni aux plantes puisqu'au contraire

elle s'était enrichie d'azote pendant son séjour dans la cage.

Des accidents presque impossibles à éviter, dans des expériences aussi délicates et aussi compliquées, firent que les trois récoltes furent très-inégales ; et c'est justement cette circonstance qui vient expliquer l'insuccès des expériences antérieures.

Voici d'ailleurs le tableau des résultats obtenus[1] :

	POT N° 1.	POT N° 2.	POT N° 3.
Poids de la semence sèche. . . .	0gr,319	0gr,124	0gr,1275
Poids de la récolte sèche.	2, 242	6, 021	1, 506
Rapport de la récolte à la semence.	: : 7 : 1	: : 48,5 : 1	: : 12 : 1
Azote de la semence.	0,0099	0,0038	0,0039
Azote de la récolte.	0,0097	0,0530	0,0110
Différence.	— 0,0002	+ 0,0492	+ 0,0071
Rapport de l'azote de la récolte à celui de la semence.	: : 1 : 1	: : 14 : 1	: : 3 : 1

On voit qu'il y eut fixation d'azote dans deux expériences seulement. Dans la première, où la récolte n'est que sept fois plus forte en poids que la semence, il n'y a pas d'azote gagné ; dans la troisième, où la récolte égale douze fois la semence, il y a un faible gain d'azote, et enfin, dans le pot n° 2, où la récolte est normale, l'azote fixé est en quantité considérable. Ces résultats montrent que l'assimilation de l'azote atmosphérique ne commence qu'à une certaine époque du développement de la plante. Pour le cresson, c'est lorsqu'il a atteint environ onze fois le poids de sa graine. Dès lors, quoi de surprenant à ce

[1] Voir le rapport de M. Chevreul, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1855.

que la plupart des expériences de M. Boussingault aient donné des résultats négatifs, puisque ses récoltes n'atteignaient pas cette limite?

L'assimilation de l'azote élémentaire de l'air semblait donc définitivement établie ; mais voilà que M. Boussingault, répétant ses premières expériences avec les précautions qui lui avaient paru nécessaires pour leur donner plus de valeur, fait connaître, dans un nouveau mémoire, des résultats qui paraissent infirmer les conclusions de M. G. Ville. On avait disposé au fond d'un grand ballon une certaine quantité de sable calciné, auquel avait été ajoutée, comme engrais, de la semence de lupin privée de ses facultés germinatives. Puis on avait semé un lupin, introduit la quantité d'eau distillée nécessaire et renversé sur le grand ballon un plus petit ballon plein d'acide carbonique. Les deux vases avaient été mastiqués, afin que rien ne pût entrer ni sortir pendant toute la durée de l'expérience.

En voici les résultats :

Azote des semences. . . .	$0^{gr},0365$	$= 0^{gr},1827$
Azote de l'engrais.	$0,\ 1462$	

L'appareil contenait donc, au début de l'expérience, $0^{gr},1827$ d'azote sous forme de composés organiques divers.

A la fin de l'expérience on a trouvé :

Dans la récolte, azote. . . .	$0^{gr},1165$	$= 0^{gr},1697$
Dans le sol, azote.	$0,\ 0532$	

On voit donc que 13 milligrammes d'azote avaient été perdus et étaient passés dans l'atmosphère.

M. Boussingault conclut de ces données de l'expérience que l'excédant d'azote de la récolte sur celui des semences est expliqué par l'azote de l'engrais, et que par conséquent l'atmosphère n'est pas intervenue. Cette conclusion serait légitime s'il était démontré que tout l'azote perdu par l'engrais a, en effet, profité à la plante; or, c'est justement le contraire qui est l'expression de la vérité. Quand la semence de lupin se décompose dans le sol, son azote se subdivise en trois parties; l'une qui reste dans le sol et ne profite pas à la plante, elle est de 0gr,0532 dans l'expérience de M. Boussingault; une seconde qui se dégage à l'état d'ammoniaque et qui, par conséquent, peut être utilisée par le végétal, elle serait de 0gr,036 dans la même expérience; enfin une troisième partie qui se dégage à l'état d'azote gazeux, et serait de 0gr,057 dans le cas qui nous occupe. Ces chiffres sont obtenus en appliquant à l'expérience que nous discutons les données fournies à M. G. Ville par l'étude de la décomposition spontanée de la graine de lupin.

Voici d'ailleurs ces données :

Azote contenu dans la semence de lupin employée . . .		0gr,238
Azote dégagé à l'état d'ammoniaque.	0gr,058	
Azote resté dans le sol à l'état organique. . .	0, 093	
Somme. . . .	0gr,151	0, 151
Azote perdu à l'état gazeux		0gr,087

On voit donc que si l'on suppose que l'azote élémen-

taire n'est point intervenu, l'engrais n'a pu fournir à la plante au plus que les 0gr,036 d'azote qui se sont transformés en ammoniaque. Or, la récolte contient 0gr,080 d'azote de plus que la semence. Il faut donc de toute nécessité que l'azote gazeux soit intervenu pour au moins 0gr,044. Il est même certain qu'il est intervenu pour une quantité plus forte, attendu que M. G. Ville a constaté que, dans ces conditions, jamais la totalité de l'ammoniaque provenant de l'engrais n'était assimilée.

En définitive l'expérience de M. Boussingault, qui paraissait au premier abord s'élever contre les conclusions de M. Ville, que j'ai rapportées plus haut, vient au contraire, lorsqu'on la discute en éliminant toute hypothèse, leur donner une remarquable confirmation.

Pour nous, il est donc incontestablement établi que les plantes s'assimilent l'azote élémentaire de l'air à une certaine période de leur végétation. Tout le problème agricole se réduit donc, au point de vue de l'azote, à amener les plantes à ce point où elles sont capables d'en puiser suffisamment dans l'atmosphère. Pour cela il faut que que, dans leur jeunesse, elles trouvent dans le sol des composés azotés facilement assimilables, et l'expérience a démontré que de toutes les combinaisons azotées les nitrates étaient les plus efficaces.

La quantité d'azote combiné nécessaire aux plantes est très-variable suivant les espèces; et dans l'état actuel de la science, un des plus grands services que l'on pût rendre à l'agriculture serait de déterminer expérimen-

talement cette quantité pour chacune des espèces de la grande culture. On comprendra, j'espère, après cet exposé, l'embarras dans lequel nous nous trouvons, lorsqu'il s'agit d'apprécier l'épuisement en azote qu'une récolte donnée fait éprouver au sol. Tout ce que l'on peut faire est de déterminer l'azote de la récolte, et l'on va voir que pour le sorgho sa quantité est fort considérable. En voici le compte :

PARTIES DE LA PLANTE.	RÉCOLTE SÈCHE A L'HECTARE.	AZOTE DANS 100 PARTIES DE RÉCOLTE SÈCHE.	AZOTE DANS LA TOTALITÉ DE LA RÉCOLTE.
Tiges.	13,635k	0,7382	100k,653
Feuilles.	3,500	1,6057	56, 199
Graines	5,000	2,0870	104, 350
Récolte totale.	22,135k	»	261k,202

Si cette énorme quantité d'azote était prélevée exclusivement sur le sol, il en résulterait un épuisement excessif qui ne pourrait être compensé que par une dose énorme d'engrais.

Selon M. Boussingault[1], le fumier de ferme sec renferme 2 pour 100 d'azote, et le fumier normal contient 73,3 pour 100 d'eau ; ce qui donne dans le fumier normal 0,414 pour 100 d'azote. Pour rendre au sol l'azote

[1] *Economie rurale*, 2e édit ; tome II, page 178.

enlevé par une récolte de sorgho, il faudrait donc 63,044 kilogrammes de fumier, en supposant que la totalité de son azote dût profiter aux plantes, ce qui est évidemment faux. Or, en bonne agriculture, on ne donne au sol une semblable dose de fumier que tous les cinq ans, au commencement de la rotation. Il est donc évident que le sorgho tire de l'atmosphère au moins les quatre cinquièmes de son azote, et qu'à ce point de vue il serait plutôt améliorant qu'épuisant. Toutefois, on ne pourra juger exactement de sa puissance améliorante que lorsque l'expérience aura fait connaître la quantité d'engrais azoté qui lui est indispensable dans un sol où il ne manque, d'ailleurs, d'aucune des substances minérales utiles à son développement.

Quelques agriculteurs ayant affirmé que la culture du sorgho était très-épuisante, j'ai cru nécessaire de comparer les résultats que je viens d'exposer à ceux que fournit la culture des betteraves. Les échantillons types, dont j'ai déjà parlé et que je dois à l'obligeance de M. G. Ville, m'ont permis d'établir cette comparaison.

L'analyse m'a donné les résultats suivants :

	RÉCOLTE A L'HECTARE.	AZOTE DANS 100 PARTIES.	AZOTE DANS LA RÉCOLTE.
Feuilles sèches. . .	1047^{k}330	5,137	53^{k}801
Racines sèches. . .	10359,865	2,242	232,268
Récolte totale. . .	11407^{k}195		286^{k}069

La récolte d'un hectare de betteraves peut donc contenir près de 300 kilogrammes d'azote. On se souvient,

comme je l'ai fait remarquer plus haut, que c'est là un résultat maximum, tandis que les nombres que j'ai donnés pour le sorgho se rapportent à une récolte moyenne. On peut donc conclure de cette comparaison que l'énorme quantité d'azote contenue dans une récolte de sorgho n'est pas un fait isolé, et que la betterave, dont la culture est beaucoup mieux connue, ne le lui cède guère sous ce rapport [1].

Cette comparaison nous permet déjà d'affirmer que le sorgho n'est pas plus épuisant que la betterave, toujours, bien entendu, en ce qui concerne l'azote. Mais nous avons lieu de croire, à cause de son grand développement foliacé, comparé au petit volume de ses racines, qu'il emprunte plus à l'air, et, par conséquent, serait moins épuisant pour le sol. Toutefois, cette question ne pourra être définitivement résolue que lorsque l'on connaîtra pour l'une et pour l'autre culture la quantité minimum d'azote que le sol doit contenir pour

[1] Les plantes sucrières ne sont pas les seules qui renferment de pareilles quantités d'azote. M. Boussingault rapporte, dans son *Économie rurale*, les résultats d'une culture de luzerne qui, pendant trois années consécutives, a assimilé des quantités d'azote voisines de celles que j'ai indiquées pour le sorgho et pour la betterave.

	PRODUIT A L'HECTARE EN LUZERNE SÈCHE.	AZOTE CONTENU.
1re année	3,360k	79k
2e année.	10,080	237
3e année.	12,500	294
4e année.	10,080	237

Voir *Économie rurale*, 2e édition ; tome II, page 192.

déterminer leur prospérité. Espérons que cette connaissance ne se fera pas trop longtemps attendre.

2° Épuisement en matières minérales.

Si nous ne croyons guère aux facultés épuisantes du sorgho à l'égard de l'azote, il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit des matières minérales.

Les cendres que laissent les plantes à la combustion sont en si faible quantité, que, pendant fort longtemps, leur présence au sein des végétaux a été considérée comme accidentelle. Mais la pratique agricole ayant établi empiriquement l'utilité de certains amendements minéraux, les végétations expérimentales, entreprises par les physiologistes dans des sols artificiels, n'ayant d'ailleurs donné de récoltes importantes que si l'on avait ajouté au sol inerte une certaine quantité des cendres mêmes de la plante cultivée, l'attention s'est éveillée sur le rôle des matières minérales, et l'on doit à M. G. Ville un ensemble de travaux qui en ont nettement défini l'importance[1].

[1] Voir *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences* : Fonction de la potasse (13 août 1860 ; tome LI, page 246) ;

La soude peut-elle remplacer la potasse ? (17 septembre 1860 ; tome LI, page 437) ;

Action comparée des nitrates et des sels ammoniacaux (3 décembre 1860 ; tome LI, page 874) ;

Action de faibles traces de phosphates (1858 ; tome XLVII, page 438) ;

Des composés phosphorés utiles pour la végétation et des composés phosphorés qui ne le sont pas (11 novembre 1861 ; tome LIII, p. 832) ;

De l'importance comparée des agents de la production végétale. L'urée

Ces expériences, dont quelques-unes n'ont malheureusement pas encore été publiées, ont conduit leur auteur à des conclusions importantes qu'il a plusieurs fois formulées dans le cours des leçons qu'il professe au Muséum d'histoire naturelle, et que je vais essayer de résumer en quelques propositions générales.

1° Les éléments minéraux que l'on rencontre dans les plantes sont tout aussi essentiels à leur formation que les éléments organiques eux-mêmes.

2° Parmi les éléments des cendres des végétaux, tous ne sont pas utiles au même degré. Il peut même s'y en rencontrer d'accidentels; de sorte que l'analyse des cendres végétales ne pouvait conduire seule à la théorie de l'action des substances minérales.

3° Les éléments minéraux les plus indispensables à la production végétale sont les alcalis, et au premier rang la potasse, les terres alcalines, chaux et magnésie, et les acides phosphorique et silicique diversement combinés.

4° Sans un certain ensemble de ces divers composés minéraux, il n'y a pas de végétation prospère, même dans un sol abondamment pourvu de principes azotés.

Il est clair d'après cela que l'azote, qui a eu si long-

ayant une action favorable sur la végétation, pourquoi l'éthylurée se montre-t-elle inactive? (7 juillet 1862 ; tome LV, page 32).

temps l'honneur de préoccuper exclusivement les agronomes, se trouve aujourd'hui relégué au second plan. La quantité qu'il en faut introduire dans le sol est beaucoup moindre que celle que renferment les récoltes, puisque celles-ci en empruntent à l'air. Mais lorsqu'il s'agit des matières minérales, leur présence dans le sol, en quantité suffisante, est une nécessité absolue, attendu que la plante n'en prendra pas un atome ailleurs.

Il résulte donc de la levée de chaque récolte un épuisement certain et rigoureusement égal à la quantité de matières minérales fixes qu'elle renferme. La conséquence toute naturelle de cet épuisement est la nécessité de rendre au sol ce que la récolte a enlevé, si l'on désire entretenir sa fertilité. Il en résulte encore pour l'agriculteur une utilité très-grande à connaître exactement la nature et la quantité des éléments dont chaque récolte appauvrit son domaine, et la pratique des assolements ne sortira de l'empirisme que lorsque cette connaissance sera définitivement acquise pour chacune des espèces que l'on désire cultiver.

Pour résoudre, autant qu'il m'était possible, cette importante question à l'égard de la plante qui m'occupe, j'ai soumis à l'analyse les cendres provenant de ses diverses parties, et j'ai calculé, d'après les résultats obtenus, la quantité de chacun des éléments contenus dans la récolte d'un hectare.

a. Tiges de sorgho.

J'ai récolté plusieurs tiges de sorgho arrivées à maturité, et, après dessiccation, j'ai incinéré ensemble tous les entrenœuds de même rang. Voici le tableau des résultats obtenus :

NUMÉROS D'ORDRE DES ENTRENŒUDS A PARTIR DU SOL.	POIDS DE MATIÈRE SÈCHE.	CENDRES OBTENUES.	CENDRES P. % DE MATIÈRE SÈCHE.
N° 1.	44gr 409	1gr 905	4,289
N° 2.	71 300	2 245	3,144
N° 3.	69 792	1 767	2,531
N° 4.	53 825	1 256	2,331
N° 5.	47 025	1 080	2,298
N° 6.	42 295	0 950	2,246
N° 7.	30 205	0 691	2,287
N° 8.	23 315	0 519	2,226
N° 9.	15 791	0 420	2,659
N° 10.	21 047	1 119	5,316
Sommes. . .	419gr 004	11gr 952	2,854

Les entrenœuds ont été numérotés à partir du sol. On voit donc que dans la tige du sorgho la quantité de matières minérales va diminuant peu à peu de la partie inférieure à la partie supérieure, pour augmenter ensuite brusquement quand on approche de l'inflorescence. Il ne serait pas sans intérêt, au point de vue physiologique, de comparer la composition des cendres des divers entrenœuds. Mais au seul point de vue agricole qui m'occupe ici, il suffit d'en connaître la composition

moyenne et la quantité totale contenue dans la récolte.

En définitive, on est conduit aux résultats suivants :

	RÉCOLTE SÈCHE A L'HECTARE.	CENDRES DANS 100 PARTIES.	CENDRES DANS LA RÉCOLTE.
Tiges de sorgho. .	13,635k	2,854	389k,143

Pour déterminer leur composition, j'ai fait un échantillon moyen en prélevant sur le produit de chaque incinération le cinquième de son poids, et en mélangeant très-intimement les 10 portions ainsi obtenues. Je l'ai trouvé composé de :

Acide carbonique	6,12	SOMME DES MATIÈRES FIXES. = 89,86
Acide sulfurique.	6,05	
Acide phosphorique.	11,17	
Silice.	17,39	
Chaux.	14,49	
Magnésie.	5,16	
Potasse	35,60	
Oxyde de fer.	Traces.	
Oxyde de manganèse.	Traces.	
Pertes.	4,03	
Total. . . .	100,00	

L'incinération des tiges de sorgho demande un temps considérable, et encore n'arrive-t-on pas à débarrasser entièrement les cendres du charbon qu'elles retiennent avec une grande persistance. C'est là ce qui explique dans l'analyse une perte de 4,03 pour 100. Le charbon s'y trouve pour une très-grande partie.

Si nous faisons la somme des matières fixes, nous la trouvons égale à 89,86 pour 100 de la cendre employée. Les 389 kilog. 143 de cendres contenues dans la

récolte d'un hectare renferment donc 349 kilog. 683 de matières minérales fixes composées ainsi qu'il suit :

	POUR 100.	POUR 349k683.
Silice.	19,35	67k664
Acide sulfurique.	6,73	23,534
Acide phosphorique.	12,43	43.465
Chaux.	16,12	56,369
Magnésie.	5,74	20,072
Potasse.	39,63	138,579
Total. . . .	100,00	349k683

b. Feuilles de sorgho.

J'ai coupé très-menu une assez grande quantité de feuilles de sorgho mûr, de manière à en former un échantillon moyen.

86gr27 de cet échantillon ont produit 8gr6275 de cendres.

10gr du même échantillon ont perdu 1gr15 de leur poids par dessiccation à 110°.

En déduisant l'eau contenue dans les 86gr27, ils se réduisent à 76gr35 de matière sèche.

En calculant, au moyen de ces données, la proportion des cendres, on la trouve égale à 11,299 pour 100 des feuilles sèches.

Cette proportion varie peu · deux autres récoltes m'ont en effet donné l'une 13,61 pour 100 et l'autre 13,95 pour 100. J'adopterai pour la suite des calculs le chiffre 11,299, parce qu'il m'a été donné par la récolte même dont j'ai analysé les tiges et les graines. Ce chiffre

nous conduit, pour la totalité des cendres de la récolte égale à 3,500 kilog., au nombre 395 kilog. 465gr.

L'analyse de cette cendre m'a fourni les nombres suivants :

Silice.	68,52	SOMME DES MATIÈRES FIXES. = 99,38
Acide sulfurique	1,75	
Acide phosphorique.	4,10	
Chaux.	13,00	
Magnésie.	3,17	
Potasse	8,84	
Oxyde de fer	Traces.	
Oxyde de manganèse.	Traces.	
Pertes.	0,62	
Total. . . .	100,00	

La somme des produits fixes est de 99,38, c'est-à-dire que les cendres ne contiennent aucun produit étranger. Nous pouvons donc faire disparaître la perte par le calcul et appliquer cette analyse à la totalité des cendres fournies par la récolte. Nous arrivons ainsi à la composition suivante :

	POUR 100.	POUR 395k465.
Silice.	68,95	272k675
Acide sulfurique..	1,76	6,960
Acide phosphorique. . . .	4,13	16,335
Chaux.	13,08	51,727
Magnésie	3,19	12,615
Potasse.	8,89	35,157
Total. . . .	100,00	395k465

c. Graines de sorgho.

Les graines ont été prises telles que les produit la plante, c'est-à-dire enveloppées des bales et de la glume.

On les a séchées à 110° et incinérées; voici les résultats obtenus.

103gr97 de graines sèches ont produit 4gr8085 de cendres, ce qui conduit à la proportion de 4,62 pour 100.

La récolte d'un hectare étant, comme je l'ai précédemment établi, de 5,000 kilog. de graines, renferme donc 231 kilog. de cendres.

L'analyse leur assigne la composition suivante :

Silice.	40,00	SOMME DES MATIÈRES FIXES. = 97,51
Acide sulfurique.	1,20	
Acide phosphorique	25,36	
Chaux.	5,80	
Magnésie.	7,80	
Potasse	17,35	
Fer et manganèse.	Traces.	
Pertes.	2,49	
Total. . . .	100,00	

En faisant disparaître la perte par le calcul et en déterminant la composition des 231 kilog. de cendres contenues dans la récolte en graines d'un hectare, il vient :

	POUR 100.	POUR 231 KILOG.
Silice	41,02	94k756
Acide sulfurique.	1,23	2,841
Acide phosphorique.	26,01	60,083
Chaux.	5,95	13,745
Magnésie.	8,00	18,480
Potasse.	17,79	41,095
Total. . . .	100,00	231k000

En résumé, une récolte de sorgho prélève sur un

hectare de terre une somme de matières minérales fixes exprimée par le tableau suivant :

NOMS DES SUBSTANCES.	DANS LA TIGE.	DANS LES FEUILLES.	DANS LES GRAINES.	TOTAL.
Silice.	67k664	272k673	94k756	435k093
Acide sulfurique. .	23 534	6 960	2 841	33 335
Acide phosphorique.	43 465	16 333	60 083	119 881
Chaux.	56 369	51 727	13 745	121 841
Magnésie.	20 072	12 615	18 480	51 167
Potasse.	138 579	35 157	41 095	214 831
Total.	349k683	395k465	231k000	976k148

La dernière colonne de ce tableau montre que le sorgho prélève chaque année sur le sol plus de 400 kilog. de silice soluble, plus de 100 kilog. d'acide phosphorique et plus de 200 kilog. de potasse. Ce sont là des éléments fort rares en général dans les terrains agricoles; il doit donc résulter de cette culture un épuisement rapide si l'on n'a pas le soin de rendre chaque année, par un moyen quelconque, des quantités égales de ces mêmes éléments.

Voici d'après M. Boussingault l'analyse des cendres du fumier de ferme :

Acide carbonique.	2,0
Acide phosphorique.	3,0
Acide sulfurique.	1,9
A reporter.	6,9

Report	6,9
Chlore	0,6
Silice, sable, argile	66,4
Chaux	8,6
Magnésie	3,6
Oxyde de fer, alumine	6,1
Potasse et soude	7,8
Total	100,0 [1]

Selon le même auteur, le fumier frais contient 20 à 21 pour 100 de matière sèche, et le fumier sec renferme 32,2 pour 100 de cendres.

Si au moyen de ces données on calcule la quantité de fumier de ferme qu'il serait nécessaire d'employer pour rendre au sol les 120 kilog. d'acide phosphorique prélevés par une récolte de sorgho, on la trouve égale à 62,105 kilog., quantité cinq à six fois plus forte que celle dont disposent annuellement les terres les mieux cultivées. Il est dès lors facile de concevoir que certains agriculteurs aient observé un épuisement rapide par la culture du sorgho. Mais, avant de conclure à cet égard, il ne sera pas inutile de comparer l'épuisement du sorgho à celui de la betterave dont les avantages agricoles ne sont aujourd'hui contestés par personne.

Les substances minérales contenues dans les betteraves ont été dosées sur les mêmes échantillons qui avaient servi à la détermination de l'azote. Voici les résultats auxquels je suis parvenu.

[1] *Économie rurale*, 2e édition tome II; page 218.

A. RACINES DE BETTERAVES.

Récolte sèche à l'hectare.	10,359k865
Cendres dans 100 parties.	7,486
Cendres dans la totalité de la récolte. .	775,549

Composition centésimale des cendres d'après l'analyse:

Acide carbonique	20,62	SOMME DES MATIÈRES FIXES. = 78,45
Acide sulfurique.	3,46	
Acide phosphorique	11,23	
Silice.	2,40	
Chaux.	4,56	
Magnésie.	9,09	
Potasse	22,18	
Soude.	25,53	
Chlore, fer et manganèse. . .	Traces.	
Pertes.	0,93	
Total. . . .	100,00	

100 parties de cendres contenant 78,45 de matières fixes, dans les 775 kilog. 549 de la récolte, il y a matières fixes: 608 kilog. 418 gr. dont voici la composition :

	POUR 100.	POUR 608k418.
Silice.	3,06	18k618
Acide sulfurique.	4,41	26,831
Acide phosphorique.	14,31	87,065
Chaux.	5,81	35,349
Magnésie.	11,59	70,515
Potasse..	28,28	172,061
Soude.	32,54	197,979
Total. . . .	100,00	608,418

B. FEUILLES DE BETTERAVES.

Récolte sèche à l'hectare	1047k300
Cendres pour 100 parties.	20,125
Cendres dans la totalité de la récolte.. .	210,748

Composition centésimale des cendres d'après l'analyse:

Acide carbonique	19,63	SOMME DES MATIÈRES FIXES. = 78,15
Acide sulfurique	13,41	
Acide phosphorique	6,05	
Silice	1,72	
Chaux	8,95	
Magnésie	8,73	
Potasse	9,95	
Soude	29,32	
Chlore, fer et manganèse	Traces.	
Pertes	2,24	
Total	100,00	

100 parties de cendres contenant 78,15 de matières fixes, dans les 210 kilog. 748 de la récolte, il y a matières fixes : 164 kilog. 647 gr. dont voici la composition:

	POUR 100.	POUR 164k647
Silice	2,20	3k622
Acide sulfurique	17,16	28,253
Acide phosphorique	7,75	12,760
Chaux	11,46	18,869
Magnésie	11,17	18,391
Potasse	12,73	20,960
Soude	37,53	61,792
Total	100,00	164,647

En résumé, une récolte de betteraves prélève sur le sol les éléments minéraux indiqués dans le tableau suivant :

NOMS DES SUBSTANCES.	DANS LES RACINES.	DANS LES FEUILLES.	TOTAL.
	kilog.	kilog.	kilog.
Silice.	18,618	3,622	22,240
Acide sulfurique.	26,831	28,253	55,084
Acide phosphorique.	87,065	12,760	99,825
Chaux.	35,349	18,869	54,218
Magnésie.	70,515	18,391	88,906
Potasse.	172,061	20,960	193,021
Soude.	197,979	61,792	259,771 [1]
Total.	608,418	164,647	773,065

Si l'on compare ce tableau à celui de la page 67, on voit qu'en bloc une récolte de sorgho moyenne contient un peu plus (environ un cinquième) de matières minérales fixes qu'une récolte maximum de betteraves. A ce compte, le sorgho serait plus épuisant; mais examinons sur quels éléments porte plus particulièrement l'épuisement.

Silice. — Cette substance n'entre dans les betteraves que pour une quantité insignifiante, tandis que dans le sorgho il y en a 435 kilog. La silice explique donc presque à elle seule l'excès d'épuisement indiqué par le chiffre total. Il s'ensuit tout naturellement que le sorgho prospérera de préférence dans les terrains feldspathiques et argileux, terrains notamment riches en silice soluble.

[1] Cette quantité de soude pourrait paraître surprenante. Elle se comprendra facilement lorsque l'on saura que le sol avait reçu à l'hectare 1,136 kilog. de nitrate de soude comme engrais azoté.

Acide phosphorique. — Cet acide si important pour la végétation figure dans la récolte du sorgho pour 120 kilog. et pour 100 kilog. dans celle de la betterave. Le sorgho est donc un peu plus épuisant sous ce rapport. La raison en est facile à comprendre. Dans la récolte du sorgho, en effet, la graine est récoltée, ce qui n'arrive pas pour la betterave. Or on sait que l'acide phosphorique se localise plus particulièrement dans la graine, et d'ailleurs on voit que dans les 120 kilog. que renferme la récolte du sorgho la graine seule entre pour moitié.

Chaux et magnésie. — Les terres alcalines entrent pour 170 kilog. dans le sorgho et pour 140 kilog. seulement dans la betterave. On remarquera que dans le sorgho c'est la chaux qui domine, tandis que dans la betterave c'est la magnésie.

Alcalis. — Sous le rapport des alcalis, le sorgho le cède de beaucoup à la betterave. Tandis que pour le premier la quantité prélevée sur un hectare de terre est égale à 215 kilog., pour la seconde elle s'élève à 450 kilog., c'est-à-dire à plus du double. C'est là un point fort important et qui donne au sorgho, au point de vue de l'économie agricole, un avantage marqué sur la betterave. Les alcalis, en effet, sont les éléments le plus exposés à faire défaut. La quantité que le sol en renferme est presque toujours minime, et de plus leur excessive solubilité tend constamment à les faire perdre lorsque le

sol est lavé par les eaux pluviales. D'ailleurs leur prix étant élevé, leur introduction artificielle dans les engrais est restée jusqu'ici fort limitée. Il est donc de la plus haute importance pour l'agriculteur d'éviter les déperditions de ces précieux éléments; et il doit s'estimer heureux toutes les fois qu'il rencontre un végétal capable de fournir des produits abondants sans faire une trop forte consommation d'alcalis. Le sorgho me paraît dans ce cas; seulement je ferai remarquer qu'il ne contient que de la potasse, tandis que la betterave renferme une grande quantité de soude[1].

On sait, par les belles expériences de M. G. Ville, que le blé ne prospère pas sans potasse et que la soude ne peut la remplacer. Ce fait si remarquable et si surprenant serait-il général à la famille des graminées, à laquelle appartient le sorgho? Pour trancher cette question, il faudrait des expériences que je n'ai pas encore pu tenter. Je me contenterai donc de signaler le fait observé de l'absence de la soude dans les plantes que j'ai analysées :

La faible quantité d'alcalis que renferme le sorgho, eu égard à celle que contient la betterave, a une autre conséquence, toute industrielle, sur laquelle je reviendrai plus loin, mais qu'il importe de signaler ici. On sait, en effet, que l'un des principaux obstacles que

[1] Cette soude est-elle essentielle à l'organisation de la plante ou simplement accidentelle? On sait que le sol avait reçu une fumure fortement sodée. Voir la note au bas de la page 71.

l'on rencontre dans l'extraction du sucre de betterave est l'action destructive exercée sur le sucre par les alcalis, alors que la chaux employée à la défécation les a rendus caustiques.

En supposant que l'on employât le même système de traitement avec le jus de sorgho, cette cause de perte se trouverait considérablement diminuée, puisque la proportion des alcalis y est beaucoup moindre. On verra plus loin comment, dans le mode d'extraction que je propose, cet inconvénient se trouve complétement anéanti.

De tout ce que nous venons d'exposer, on peut conclure, sans crainte d'erreur, que le sorgho est, au point de vue des éléments minéraux, une des cultures les plus épuisantes que l'on puisse entreprendre. La betterave cependant l'emporte sur lui, mais seulement à l'égard des alcalis.

Le fait de l'épuisement par le sorgho une fois établi, en tirerons-nous, à l'exemple de quelques personnes, la conséquence qu'il faut renoncer à sa culture? Certainement non. L'agriculture n'est, au fond, que l'art de transformer des matières inertes, contenues dans le sol ou apportées artificiellement, en substances utiles et d'une valeur supérieure. Les plantes sont à la fois les outils et les produits de cette transformation, et à ce point de vue la meilleure sera évidemment celle qui opérera le plus vite et le plus abondamment. Loin donc de fuir les végétaux épuisants, l'agriculture me semble devoir les

rechercher avec le plus grand soin, puisqu'ils sont susceptibles de produire plus à surface de terrain égale. Seulement, il y a une condition importante à remplir, c'est de maintenir constamment à la disposition des racines tous les matériaux dont la plante doit se nourrir, et l'on y arrivera en la soumettant à un système de culture scientifiquement combiné.

4. Système de culture qui convient au sorgho.

En théorie, il n'y a qu'un seul moyen de perpétuer la fécondité du sol, c'est de lui rendre la totalité des éléments que la culture lui a enlevés. Ce précepte, déjà formulé par la science bien des fois, a presque toujours échoué devant les difficultés de la pratique. Au moyen des assolements, l'agriculture est arrivée, empiriquement, à s'en rapprocher plus ou moins. Mais ce ne sont encore là que des tâtonnements que la science est appelée à remplacer par des règles précises, conduisant à des résultats certains.

Il y a, en effet, deux moyens généraux de résoudre le problème posé plus haut.

Le premier consiste à fabriquer de l'engrais avec la plante même et à le répandre sur le sol qui l'a produite. Mais comment le pratiquer lorsqu'une partie de la récolte est exportée et vendue sur le marché? Les éléments minéraux contenus dans cette partie sont nécessairement

perdus pour le sol qui, avec le temps, finira par en être épuisé. Or presque toutes les cultures fournissent des parties destinées à l'exportation, graines, feuilles ou racines.

Le second procédé consisterait à répandre sur le sol un mélange artificiel contenant en même proportion, en même quantité et sous leur forme la plus assimilable, tous les éléments dont l'analyse accuse la présence dans la récolte. Ce moyen, que la théorie conçoit *à priori*, exige, pour devenir possible, des travaux scientifiques considérables, faisant connaître la composition des récoltes et le rôle de chacun des éléments qu'elles renferment. La première partie de la question ne trouve encore qu'une solution fort incomplète dans les nombreuses analyses que possède la science, analyses faites pour la plupart dans un but différent; mais on peut y suppléer en se livrant, pour la plante dont on s'occupe, à un travail analogue à celui que j'ai précédemment exposé à l'égard du sorgho. Quant au rôle de chacun des éléments, il est aujourd'hui à peu près connu, grâce aux nombreux travaux de M. G. Ville sur l'assimilation des éléments minéraux, et l'activité avec laquelle ce savant poursuit ses recherches nous promet une solution prochaine aux questions qui ont encore besoin d'être élucidées. On conçoit donc dès aujourd'hui la possibilité pour l'agriculture de se lancer dans cette voie. Mais l'industrie ne s'étant pas encore mise en mesure de produire à bon marché les matériaux nécessaires, il faudra probable-

ment encore laisser écouler quelques années avant d'entrer largement dans l'application.

Ce qu'il convient donc de faire dès à présent, c'est de recourir à un système mixte en rendant au sol toutes les parties de la plante que l'on peut se dispenser d'exporter, et en compensant les pertes produites par l'exportation au moyen d'un apport de substances étrangères prises parmi celles que le commerce est en mesure de livrer à des prix convenables, telles que phosphates de chaux, nitrates, sels ammoniacaux, etc., etc.

Tels sont les principes applicables à la généralité des cas ; il est cependant quelques cultures qui peuvent particulièrement se prêter au premier procédé, consistant à rendre au sol la plante elle-même. Ce sont celles dont le produit exportable, exclusivement composé de carbone, hydrogène et oxygène, a été prélevé en totalité sur l'atmosphère. Le sorgho sera de ce nombre, si l'on adjoint à l'exploitation agricole un établissement industriel capable d'en extraire le sucre ou de le transformer en alcool. A ne prendre cette fabrication que dans son ensemble (j'entrerai plus loin dans quelques détails à son sujet), elle consiste essentiellement en une séparation de la récolte en trois parties : tiges, feuilles et graines. Les tiges sont exprimées ou traitées par macération pour en extraire le jus, et il reste une bagasse. Si le jus est distillé, la totalité des matières minérales solubles reste dans les vinasses et, il suffira pour préparer l'engrais de faire un mélange de la bagasse et des feuil-

les et de l'arroser avec la vinasse dans une fosse à fumier. Si, au contraire, l'on extrait le sucre, les matières minérales solubles restent dans les mélasses. Celles-ci sont distillées, et l'on retombe dans le cas précédent. Quant à la graine, elle peut être exportée, et alors elle fait éprouver au sol une déperdition dont on a la valeur dans le tableau de la page 67. Si l'on tient à éviter cet épuisement, on le peut encore en distillant la graine elle-même, et de cette façon on se procure des résidus très-riches en azote qui, ajoutés aux autres résidus dont j'ai déjà parlé (bagasses, feuilles et vinasses), en déterminent rapidement la putréfaction et sont éminemment favorables à la production d'un excellent fumier.

Le sorgho traité de cette façon donnera un produit d'une valeur importante, sans faire éprouver au sol le moindre appauvrissement, puisque la totalité de l'azote et des matières minérales que la récolte lui avait enlevées lui sera rendue. Il y a plus, la récolte contenant toujours plus d'azote que le sol ne lui en a fourni, le domaine gagnera des quantités croissantes de cet élément, de telle sorte qu'il sera possible de lui demander, à des intervalles de temps que la pratique seule pourra déterminer, une récolte très-azotée, telle que le froment, sans pour cela diminuer sa fécondité, à la condition toutefois de lui rendre les phosphates et les alcalis exportés par cette récolte.

Ce n'est point ici le lieu d'entrer longuement dans les détails de l'application. Ce que j'ai dit suffit, ce me

semble, pour établir que, grâce aux indications de la science, il est possible aujourd'hui de cultiver indéfiniment une même plante sans pour cela appauvrir le sol, et pour montrer que le sorgho, soumis à ce système de culture où l'industrie et l'agriculture se donnent la main, est susceptible d'offrir des produits très-rémunérateurs, tout en développant la fécondité du sol.

CHAPITRE III

PRODUITS DE LA TIGE DU SORGHO SUCRÉ

1. Nature et quantité des matières sucrées contenues dans la tige du sorgho.

La présence d'une matière sucrée dans la tige du sorgho est tellement évidente à la simple dégustation, que la plante en a reçu le nom de sorgho sucré. Mais cette saveur, qu'il est si facile de percevoir, ne nous apprend absolument rien sur la nature des espèces qui la produisent. Un examen chimique approfondi pouvait seul nous renseigner à cet égard.

Si l'on délaye dans du jus de sorgho des traces de levûre de bière et qu'on abandonne le mélange quelques heures à une température de 25 à 30°, il ne tarde pas à se développer une fermentation des plus énergiques dont les principaux produits sont de l'acide carbonique qui se dégage et de l'alcool que l'on peut extraire du liquide par distillation. C'est là le phénomène qui

caractérise au plus haut degré la présence des matières sucrées; mais il nous laisse encore indécis à l'égard de la nature spéciale du sucre ou des sucres auxquels nous avons affaire.

On sait que les sucres se subdivisent en deux groupes fondamentaux : ceux qui réduisent et ceux qui ne réduisent pas la liqueur cupro-potassique.

Si l'on fait bouillir le jus de sorgho, tel qu'il s'écoule de la presse, avec le réactif cupro-potassique, il y a immédiatement réduction ; donc il existe dans le sorgho au moins un sucre réducteur. Mais si l'on fait préalablement bouillir le jus de sorgho avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique ou sulfurique, et ensuite avec la liqueur cupro-potassique, la réduction est alors beaucoup plus abondante. Que l'on détermine avec exactitude le volume de jus qui peut réduire un certain volume de liqueur d'épreuve avant et après l'action de l'acide, l'on verra, dans la presque totalité des cas, que la quantité de jus acidifié nécessaire est beaucoup moindre que celle du jus naturel.

Avec le sucre réducteur, dont la présence a été constatée plus haut, le sorgho renferme donc un sucre non réducteur, susceptible de le devenir par l'action des acides.

Ces premiers essais nous ont déjà permis de dédoubler la totalité de la matière sucrée fermentescible en sucre réducteur et en sucre non réducteur; il faut maintenant recourir à l'examen polarimétrique pour savoir

quelles espèces chimiques renferme ce mélange. Le sucre non réducteur, isolé pour la première fois par M. Berthelot en traitant par l'alcool un sirop de sorgho préparé par M. Vilmorin, offrit tous les caractères du sucre de canne. J'en ai pour ma part extrait d'assez fortes quantités pour pouvoir constater 1° sa cristallisation facile et identique à celle du sucre de canne; 2° son inaction complète sur le réactif cupro-potassique; 3° enfin son pouvoir rotatoire.

On a fait dissoudre 2 grammes de sucre de sorgho bien cristallisé et séché dans 30 centimètres cubes d'eau distillée. La solution, examinée au saccharimètre optique de Soleil, a donné lieu au chiffre suivant :

Notation directe + 39°

Si dans la formule $D = \frac{0,1215 \times n}{p}$[1], on remplace n par cette valeur et p par le nombre 0,06666 exprimant la quantité de sucre contenue dans un c/cube de solution, on a $D = \frac{0,1215 \times 39}{0,06666} = 71,11$.

Le pouvoir rotatoire D du sucre cristallisable du sorgho diffère donc assez peu de celui du sucre de canne égal à 73,8, pour que la différence puisse être attribuée à l'impureté du produit et que l'on soit en droit d'admettre l'identité des deux sucres.

[1] Pour l'origine de cette formule, voir la note VII à la fin de l'ouvrage.

Il reste à examiner la nature du sucre réducteur. Pour cela, nous faisons au moyen du réactif cupro-potassique l'analyse d'un jus clarifié et décoloré, puis nous l'examinons au saccharimètre et nous notons la déviation observée ainsi que la température de l'essai [1].

Exemple :

DOSAGE DES SUCRES.

	DANS 100cc DE JUS.	DANS 100gr DE SUCRE.
Sucre réducteur	3,63	26,27
Sucre non réducteur.	10,18	73,73
Somme des sucres. . . .	13,81	100,00

OBSERVATION SACCHARIMÉTRIQUE.

Notation directe.	+ 27°
Température.	+ 19°,5

Le jus avait été étendu, pour sa clarification, de son volume d'alcool ; la notation du jus naturel eût donc été double, c'est-à-dire égale à + 54°. Ces données introduites dans la formule du pouvoir rotatoire dont j'ai déjà fait usage plus haut, fournissent l'expression suivante :

$$D = \frac{0{,}1215 \times 54}{0{,}1381} = +\ 47°50$$

Le pouvoir rotatoire du mélange de sucres dissous dans le jus est donc égal à + 47°50. Si nous admettons le nombre 73°8 pour le pouvoir rotatoire du sucre non réducteur contenu dans le mélange, comme j'ai

[1] Voir les notes V et VII.

démontré plus haut qu'il était légitime de le faire, nous aurons pour le pouvoir rotatoire du sucre réducteur :

$$X = \frac{100D - S \times 73{,}8}{R}\ [1] = \frac{47{,}50 \times 100 - 73{,}8 \times 73{,}75}{26{,}27} = -\ 26°31$$

Le pouvoir rotatoire ainsi obtenu, étant très-rapproché de celui du sucre interverti, qui serait à cette même température de 19°,5 égal à — 24, 33, nous sommes fondés à conclure que le sucre réducteur contenu dans le jus examiné n'est autre chose que le mélange à parties égales de lévulose et de glucose qui constitue le sucre interverti.

Le jus que je viens d'étudier provenait d'une canne dont les graines étaient arrivées à maturité; j'ai répété les mêmes essais sur des jus de cannes de tout âge et de provenances variées, et j'ai été conduit par ce travail à diviser les jus de sorgho en trois catégories, 1° ceux où le sucre réducteur possède, comme dans l'exemple précédent, un pouvoir rotatoire très-voisin de celui du sucre interverti ; 2° ceux dans lesquels ce même pouvoir rotatoire est notablement supérieur à — 26 ; 3° ceux dans lesquels il est, au contraire, très-sensiblement inférieur.

J'ai réuni dans le tableau suivant un certain nombre d'exemples de ces trois cas, dont les deux derniers sont de beaucoup les plus fréquents.

[1] Voir note VII, formule (*b*).

NUMÉROS D'ORDRE.	DATE DE LA RÉCOLTE.	LIEU DE PROVENANCE.	AGE DE LA PLANTE	SUCRE RÉDUCTEUR 0/0 DU JUS EN VOLUME.	SUCRE CRISTALLISABLE 0/0 DU JUS EN VOLUME	NOTATION AU SACCHARIMÈTRE.	TEMPÉRATURE DE L'ESSAI.	POUVOIR ROTATOIRE DU SUCRE RÉDUCTEUR.	POUVOIR ROTATOIRE DU SUCRE INTERVERTI à la même température.	DIFFÉRENCE entre ces deux POUVOIRS ROTATOIRES.
1° Cas dans lesquels le pouvoir rotatoire du sucre réducteur est voisin de — 26.										
1	24 sept. 1859. . .	Paris. . . .	Mûre..	3,63	10,18	+ 54°	19°,5	— 26,31	— 24,33	— 1,98
2	1er novemb. 1859.	Paris. . . .	Mûre..	23,67	17,49	+ 54°	19°,5	— 26,60	— 24,33	— 2,27
3	5 octobre 1861..	Valence. . .	Apparit. de l'épi..	3,32	1,39	+ 2°,20	22°	— 22,83	— 23,41	+ 0,58
4	24 sept. 1861. . .	Valence. . .	Mûre..	4,20	12,00	+ 65°	24°	— 21,15	— 22,67	+ 1,52
5	26 sept. 1811. . .	Valence. . .	Mûre..	5,26	10,89	+ 57°	23°	— 20,12	— 23,04	+ 2,92
6	27 sept. 1861. . .	Valence. . .	Mûre..	3,08	14,26	+ 82°,5	21°	— 16,53	— 23,72	+ 7,19
7	5 sept. 1862. . .	Valence. . .	Mûre..	0,91	17,89	+ 106°,7	21°	— 25,80	— 23,72	— 2,08
8	24 sept. 1862. . .	Valence. . .	Mûre..	0,91	15,55	+ 92°.40	25°	— 27,30	— 23,04	— 4,26
9	27 sept. 1862. . .	Valence. . .	Gr. rougissant. .	2,14	12,14	+ 69°,40	23°	— 24,72	— 2 ,04	— 1,68
2° Cas dans lesquels le pouvoir rotatoire du sucre réducteur est supérieur à — 26.										
1	12 octobre 1859. .	Paris. . . .	Mûre..	3,38	9,64	+ 62°	21°	+ 29,89	— 23,72	+ 53,61
2	26 sept. 1862. . .	Valence. . .	Gr. rougissant. .	2,73	9,88	+ 71°,5	23°	+ 51,13	— 23,04	+ 74,17
3	1er octobre 1862.	Valence. . .	Étam. tombant. .	4,57	2,93	+ 58° 5	19°	+ 57,55	— 24,52	+ 82,07
4	1er octobre 1862.	Valence. . .	Étam. tombant. .	5,20	2,85	+ 20°,2	19°	+ 2,60	— 24,52	+ 27,12
5	6 octobre 1862..	Valence. . .	Apparit. de l'épi..	6,07	0,23	+ 9°,9	22°	+ 17,02	— 23,41	+ 40,43
6	6 octobre 1862..	Valence. . .	Mûre..	1,31	11,33	+ 74°,8	22°	+ 55,50	— 23,41	+ 78,91
7	29 octobre 1862..	Valence. . .	Presque mûre. .	7,20	9,11	+ 56°	19°	+ 1,19	— 24,52	+ 25,71
3° Cas dans lesquels le pouvoir rotatoire du sucre est inférieur à — 26.										
1	17 sept. 6862. . .	Valence. . .	Mûre..	1,38	10,92	+ 59°,40	21°	— 60,87	— 23,72	— 37,15
2	19 sept. 1862. . .	Valence. . .	Mûre..	1,38	11,40	+ 64°.90	22°	— 38,37	— 23,41	— 14,96
3	24 sept. 1862. . .	Valence. . .	Mûre..	1,21	14,45	+ 81°,40	23°	— 63,90	— 23,04	— 40,86
4	26 sept. 1862. . .	Valence. . .	Gr. rougissant. .	1,61	13,32	+ 77°	23°	— 58,26	— 23,04	— 35,22
5	3 octobre 1862..	Valence. . .	Mûre..	1,34	12,90	+ 72°,60	20°	— 51,96	— 24,15	— 27,81
6	10 octobre 1862..	Valence. . .	Mûre..	1,13	14,14	+ 78°,10	22°	— 83,78	— 23,41	— 60,37
7	10 octobre 1862..	Valence. . .	Mûre..	0,76	8,18	+ 44°	22°	— 90,82	— 23,41	— 67,41

Il est facile de voir, à l'inspection des tableaux précédents, que le pouvoir rotatoire du sucre réducteur contenu dans le sorgho varie dans des limites assez étendues et ne se trouve que rarement égal à — 26. On remarquera d'ailleurs que le pouvoir rotatoire le plus fort que contienne le tableau n° 2 est + 57,55, assez voisin de + 56, pouvoir rotatoire du glucose de fécule, pour que la différence puisse être attribuée à une erreur d'analyse. D'un autre côté, les pouvoirs inscrits au tableau n° 3 vont diminuant jusqu'à — 90, 82, qui se rapproche de — 106 pouvoir rotatoire du glucose lévogyre ou lévulose. Cette observation nous conduit à reconnaître dans ces deux nombres + 56 et — 106 les limites extrêmes de la variation du pouvoir rotatoire du sucre réducteur du sorgho. Dès lors ne devient-il pas évident que ce sucre réducteur n'est autre chose qu'un mélange à proportions variables de glucose et de lévulose ? Lorsque ces deux sucres se rencontrent en quantités équivalentes, ils produisent le sucre interverti; c'est le cas des analyses inscrites au tableau n° 1. Si le glucose dextrogyre domine, il élève le pouvoir rotatoire, comme dans le tableau n° 2, où on le trouve même à l'état de pureté dans les échantillons n° 3 et n° 6. Le tableau n° 3 présente, au contraire, des cas dans lesquels la lévulose domine d'une manière plus ou moins marquée.

Ce fait, issu de la comparaison des chiffres, pourra paraître surprenant. Je ne me suis moi-même décidé à l'admettre qu'après avoir refait et vérifié un grand nom-

bre de fois les analyses sur lesquelles il est fondé, et, malgré toute la confiance que m'inspirent les résultats que je viens de faire connaître, j'aurais peut-être encore hésité à affirmer qu'il en fût réellement ainsi, si je n'avais trouvé quelque chose d'analogue dans un travail récent de M. Buignet, que l'habileté bien connue de son auteur, met à l'abri de tout soupçon d'inexactitude.

Dans une thèse, remarquable à plus d'un titre, soutenue devant la faculté des sciences le 27 novembre 1860, M. Buignet fait connaître plusieurs analyses qui l'ont forcé à admettre pour le pouvoir rotatoire du sucre réducteur contenu dans quelques fruits les chiffres suivants :

Pomme reinette grise.	— 51°2
Pomme de Calville.	— 68,2
Poires (Madeleine)	— 81,45
Poire d'Épargne.	— 91,06 [1]

Il y avait là une prédominance marquée du glucose lévogyre. Ce résultat, si extraordinaire tant qu'il était isolé, avait suggéré à M. Buignet l'idée d'une fermentation élective, qui détruirait de préférence le glucose dextrogyre, et s'opérerait pendant le traitement auquel on est obligé de soumettre les fruits pour les analyser. Cette théorie, qui d'ailleurs n'est avancée par M. Buignet qu'avec une extrême réserve, tombe naturellement devant les faits que je viens de signaler. Elle ne se fût même jamais présentée à l'esprit de son auteur si, comme

[1] M. Buignet, *Thèses pour le doctorat ès sciences physiques*, p. 27 et suivantes.

moi, il avait rencontré des cas de prédominance du glucose dextrogyre. Devant les analyses consignées dans les tableaux précédents, on est forcé de renoncer à toute idée d'altération pendant le travail, puisqu'il faudrait admettre que l'altération peut avoir lieu dans deux sens différents, les circonstances restant les mêmes. Il faut donc absolument se décider à y voir la preuve de l'existence d'un mélange de glucose et de lévulose à proportions variables dans la plante même. Nous verrons à la partie physiologique de ce travail quelles sont les conséquences théoriques de cette observation.

Ceci posé, il devient facile de calculer, au moyen du pouvoir rotatoire observé, les proportions de glucose et de lévulose qui constituent le sucre réducteur [1]. Dans le tableau suivant on trouve les résultats de ce calcul pour les exemples consignés dans le deuxième et le troisième tableau de la page 85.

		N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4	N° 5.	N° 6.	N° 7.
2e TABLEAU.	Glucose. . . .	83.88	97.00	100.00	67.04	75 94	100.00	66.20
	Lévulose. . .	16 12	3.00	0 00	32.96	24.06	0.00	33.80
	Somme. . . .	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3e TABLEAU.	Glucose. . . .	27.86	41.75	25.99	29.47	33 36	13.72	9.37
	Lévulose. . .	72.14	58 25	74.01	70.53	66.64	86.28	90.63
	Somme. . . .	100.00	100.00	100.00	100 00	100.00	100.00	100.00

Il est donc définitivement établi que la tige du sorgho

[1] Voir la fin de la note VII.

sucré renferme un mélange, à proportions variables, de trois sucres différents.

1° Du sucre cristallisable à pouvoir rotatoire. . . .	+ 73,8
2° Du glucose dextrogyre à pouvoir rotatoire. . . .	+ 56
3° Du glucose lévogyre ou lévulose à pouvoir rotat.	— 106

Les deux derniers peuvent être réunis sous le nom de sucre réducteur.

La nature des sucres du sorgho étant connue, il reste à en déterminer la quantité. Dans ce but, j'ai dû multiplier les analyses, afin d'apprécier l'influence des diverses circonstances qui font varier la richesse des jus. Ces circonstances sont nombreuses ; dans l'impossibilité de les étudier toutes, je me suis du moins appliqué à définir les plus importantes.

Le tableau suivant résume trente analyses de jus obtenus dans des conditions variées. Les essais ont été exécutés sur trois récoltes différentes, en 1859, 1861 et 1862. Pour chaque année on a analysé les plantes à quatre époques de leur végétation :

Le premier âge correspond au moment de l'apparition de l'épi hors de sa gaîne ;

Le deuxième âge coïncide avec la floraison, entre l'apparition et la chute des étamines ;

Le troisième âge correspond au moment où les glumes commencent à rougir et où la graine, déjà fécondée, est cependant encore à l'état laiteux ;

Le quatrième âge enfin répond à la maturité complète de l'épi terminal.

ANNÉE et LIEU DE LA RÉCOLTE	AGE DE LA PLANTE.	DATE DE L'ESSAI.	SUCRE CRISTALLISABLE dans 100 cc. de jus.	SUCRE RÉDUCTEUR dans 100 cc. de jus.	SOMME DES SUCRES.	MOYENNES.		
						SUCRE cristallisable	SUCRE réducteur.	SOMME
PARIS 1859.	1re âge.	21 septembre.	4,09	5.26	9.35	4.91	6.57	11.48
		11 novembre.	5,73	7.89	13.62			
	2e âge.	8 septembre.	4 37	5.26	9.63	4.37	5.26	9.63
	3e âge.	25 octobre.. .	7.78	7 84	15.62	7 84	6.04	13 88
		25 octobre.. .	7.90	4.25	12.15			
	4e âge	24 septembre.	10.18	3.63	13.81	9.24	4.85	14.09
		12 octobre.. .	9,64	3.38	13.02			
		5 novembre..	7.85	7.00	14.85			
		11 novembre	9.30	5.39	14 69			
VALENCE 1861.	1re âge	5 octobre.. .	1.39	3 32	4.71	1.39	3.32	4.71
	2e âge.	9 octobre.. .	6.54	5.26	11.80	6.54	5.26	11.80
	3e âge.	11 octobre.. .	10.90	2.25	13.15	10.90	2.25	13.15
	4e âge.	24 septembre.	12.00	4.20	16.20	12.29	3.65	15.94
		26 septembre.	10.89	5.26	16.15			
		27 septembre.	14.26	3 08	17.34			
		12 octobre.. .	12.01	2 07	14.08			
VALENCE 1862.	1re âge.	6 octobre.. .	0.23	6.07	6.30	0 23	6.07	6.30
	2e âge.	1er octobre. .	2.93	4.37	7.30	2.89	4.78	7.67
		1er octobre. .	2.85	5.20	8.05			
	3e âge.	26 septembre.	9.88	2.73	12.61	11.78	2.16	13.94
		26 septembre	13.32	1.61	14.93			
		27 septembre.	12 14	2.14	14.28			
	4e âge.	5 septembre.	17.89	0.91	18.80	13.57	1.19	14.76
		17 septembre.	10.92	1,38	12.30			
		19 septembre.	11.40	1,38	12.78			
		24 septembre.	15.55	0.91	16.46			
		24 septembre.	14.45	1.21	15.66			
		3 octobre.. .	12.90	1.34	14 24			
		6 octobre.. .	11.33	1.31	12.64			
		10 octobre.. .	14.14	1,13	15 27			

Il suffit de jeter les yeux sur le tableau précédent pour voir que l'âge des plantes exerce une influence marquée sur la qualité de leurs produits. Si l'on compare, en effet, les moyennes des quatre âges, pour chaque année, on voit que le sucre cristallisable suit une marche ascensionnelle rapide jusqu'à la maturité. Le sucre réducteur,

au contraire, va diminuant, et la somme des sucres augmente : ce qui prouve que le sucre cristallisable augmente plus rapidement que ne diminue le sucre réducteur. Ces conclusions qui se vérifient sur trois récoltes différentes, obtenues sur des sols différents, acquièrent par cela même un haut degré de certitude et de généralité. Toutefois, il n'est pas inutile, vu leur importance théorique et pratique, de rappeler les travaux antérieurs qui les avaient déjà indiquées.

En 1854, M. Vilmorin[1] exprimait le fait dubitativement et sans l'appuyer sur des chiffres. Il remarquait seulement que le sucre était allé croissant jusqu'à la fin de la saison ; mais ses plantes n'ayant pas atteint la maturité de la graine, il n'avait pu juger de l'influence de la granification. Dans un rapport au comice agricole de Toulon, M. David de Beauregard affirmait que chez lui la maturation n'avait pas eu d'influence fâcheuse ; mais ce n'était encore qu'une allégation vague qui avait besoin d'être précisée.

En 1856, époque à laquelle je commençai à m'occuper de cette question, je fis connaître quelques analyses d'où je tirais, sous toute réserve, la conclusion suivante[2] :

« Il semble résulter de nos expériences que la quantité de sucre brut s'accroît dans la tige depuis le moment où l'épi se montre jusqu'à celui où les graines commencent à rougir. A partir de cette époque, la

[1] *Journal d'agriculture pratique*, tome II, 4e série, page 491.
[2] *Courrier de la Drôme et de l'Ardèche* du 16 novembre 1856

quantité totale des sucres semble diminuer, mais en revanche celle du sucre cristallisable s'accroît de plus en plus jusqu'à la maturité. »

Je me suis assuré, depuis, que la diminution que j'avais alors constatée dans la somme des sucres, n'était pas constante bien qu'elle se rencontre quelquefois, notamment sur la fin de la saison.

En 1858, M. Leplay[1] a publié une série de déterminations de sucre par fermentation qui l'ont conduit à admettre l'augmentation jusqu'à la maturité de la graine. Voici d'ailleurs le tableau de M. Leplay :

ÉTAT DU SORGHO.	DÉVIATION A DROITE au saccharimètre.	RICHESSE correspondante EN SUCRE PAR LITRE.	RICHESSE ALCOOLIQUE.	RICHESSE correspondante EN SUCRE PAR LITRE.
Épi à moitié sorti	0,0	0,0	2,25	40
Epi formé sans graines	1,6	0,26	1,80	32,7
Epi non mûr	16,5	27,05	2,90	70,9
Idem	22	36	4,60	83,6
Idem	23	38	4.60	83,6
Sorgho presque mûr	47	78,08	6,80	123,6
Idem	66	110	7	127,2
A moitié mûr	66	110	6,20	112,7
Sorgho commençant à mûrir	56	93,05	6,55	118,1
Idem	64	107	7,30	132,7
Sorgho bien mûr	94	157	9,7	176,4
Idem	78	130	8,7	158,1
Idem	79	132	9,8	178,1
Idem	80	133	9,0	163,6
Idem	80	133	9,5	127,7[2]

[1] *Journal de pharmacie et de chimie*, 3e série; tome XXXIII, p. 336.

[2] Ce dernier nombre est évidemment faux dans le tableau de M. Leplay. C'est 172,7 qu'il faut lire.

Ce travail donnait à la proposition qui nous occupe un très-haut degré de certitude. Cependant, il restait à apprécier l'influence des progrès de l'âge sur la nature des sucres, question que le travail de M. Leplay ne faisait qu'effleurer. Ce point ayant été éclairci par les analyses que j'ai citées plus haut, on peut aujourd'hui regarder comme définitivement établi :

1° Que la somme des sucres va augmentant dans le jus du sorgho depuis l'apparition des épis jusqu'à la maturité de la graine ;

2° Que l'augmentation porte exclusivement sur le sucre de canne, $C^{12} H^{11} O^{11}$;

3° Que le sucre réducteur, $C^{12} H^{12} O^{12}$, reste stationnaire ou diminue.

Il résulte immédiatement de ces faits que la récolte du sorgho devra se faire à la maturité des graines, quel que soit l'usage industriel auquel on le destine, distillerie ou sucrerie. Cette circonstance est d'ailleurs fort heureuse au point de vue économique, car elle permet de récolter la graine, dont la valeur n'est nullement négligeable.

Le tableau de la page 90 contient encore d'autres enseignements. On y voit, en effet, que la proportion de sucre cristallisable contenue dans le jus à la maturité peut s'élever jusqu'à près de 180 grammes par litre, chiffre très-considérable, puisque la betterave dépasse rarement 100 grammes pour le même volume. Toute-

fois nous remarquerons que cette richesse maximum est assez rare, et que d'une manière générale on ne peut guère compter que sur 120 à 130 grammes. C'est là une richesse déjà très-satisfaisante; et s'il était possible d'en extraire seulement 100 grammes d'une manière courante, le sorgho serait largement en mesure de lutter avec la betterave comme plante sucrière.

Malheureusement il n'en est pas ordinairement ainsi; et, lors même que l'analyse constate une forte proportion de sucre cristallisable, il est souvent impossible d'en faire cristalliser un atome. Si nous examinons dans le tableau la colonne du sucre réducteur, nous y trouverons le secret de ces difficultés. Le sucre réducteur du sorgho est, selon la démonstration que j'en ai donnée plus haut, un mélange de glucose et de lévulose. Or ce mélange, avant d'avoir été défini par les travaux de M. Dubrunfaut, était désigné par les chimistes sous le nom de sucre incristallisable, pour indiquer l'impossibilité reconnue de l'obtenir sous forme concrète. Non-seulement ce mélange ne cristallise pas, mais sa présence s'oppose avec une grande énergie à la cristallisation du sucre prismatique.

On admet généralement en sucrerie que le sucre incristallisable empêche de cristalliser son équivalent de sucre cristallisable. Mais je ne sache pas que cette proportion ait jamais été établie sur des données exactes, et les études de M. Dubrunfaut sur les mélasses de betteraves semblent au contraire démontrer que l'action nui-

sible du sucre incristallisable est bien plus énergique qu'on ne le pense généralement.

On voit dans le tableau de la page 90 que dans les jus de sorgho la proportion du sucre incristallisable est excessivement variable et peut s'élever, même à la maturité, sensiblement au niveau de la proportion de sucre cristallisable. C'est ce qui arrive dans l'analyse du 5 novembre 1859. Bien que le jus renfermât 78^{gr} 50 de sucre prismatique par litre, il eût été impossible d'obtenir la moindre trace de cristaux, puisqu'il contenait en même temps 70 grammes de sucre incristallisable.

Cette remarque montre déjà la nécessité absolue pour la sucrerie de ne recourir qu'à des tiges dont la graine soit parfaitement mûre, afin de n'avoir à redouter que la plus faible quantité possible de sucre incristallisable. Cependant on n'échappe encore qu'à demi à sa fâcheuse influence, malgré cette précaution, puisque le tableau montre un certain nombre d'analyses de cannes mûres dans lesquelles le sucre incristallisable est encore en proportion très-élevée.

Avant donc de songer à extraire le sucre du sorgho, il y a un problème tout agricole à résoudre. Il s'agit de déterminer les conditions de sol, d'engrais, de culture et de climat dans lesquelles il faut se placer pour amoindrir le plus possible la production du sucre incristallisable. L'examen des trois récoltes dont les analyses sont inscrites au tableau montre la possibilité

d'une solution de cette nature. On y voit, en effet, qu'en 1859 la proportion de sucre incristallisable dans les tiges mûres était en moyenne de 4,85 pour 14,09 de sucre total, soit 34,48 pour 100. En 1861, la récolte est meilleure : elle donne 3,65 sur 16, c'est-à-dire seulement 22,81 pour 100. Enfin, en 1862, la récolte se présente dans des conditions parfaitement exploitables, puisque sur 14,76 de matière sucrée il n'y a plus que 1,19 de sucre incristallisable, soit 8,06 pour 100. Si nous remarquons, en outre, que pour une même récolte la proportion varie assez peu, nous serons en droit de conclure, surtout en présence des résultats de 1862, qu'il existe certaines conditions agricoles dans lesquelles le sorgho fournit des jus d'une richesse et d'une pureté précieuses pour l'industrie sucrière.

Cette conclusion permet d'espérer que tôt ou tard on saura produire, d'une manière régulière, des récoltes équivalentes à celle que j'ai obtenue en 1862. J'ajouterai même, sans toutefois oser l'affirmer, qu'en se conformant aux indications que j'ai données dans le chapitre précédent, j'ai tout lieu d'espérer que l'on atteindra le but ; car moi-même je n'y suis pas arrivé par un autre chemin. On comprendra ma réserve sur ce point si je rappelle que mes expériences de culture n'ont jamais porté sur une étendue importante, et qu'en somme je n'ai encore obtenu qu'une récolte satisfaisante, celle de 1862. Mais on partagera sans doute aussi mes espérances, si j'ajoute qu'une petite culture, con-

duite d'après les mêmes principes, et que j'ai pu diriger moi-même cette année (1863), vient de me donner à Paris, c'est-à-dire sous un climat très-peu favorable, des produits équivalents et même supérieurs à ceux de 1862.

Les plantes n'ont pu arriver à maturité; et, malgré cette cause d'infériorité, un jus provenant de 40 cannes dont les glumes commençaient à rougir, m'a donné à l'analyse le résultat suivant :

Sucre cristallisable. . .	14,55	pour 100cc de jus.
Sucre réducteur. . . .	1,74	

On doit admettre, en vertu de la démonstration donnée plus haut, que, si ces plantes avaient pu arriver à maturité, la quantité de sucre réducteur eût été encore moindre, bien qu'elle ne soit ici que de 10,68 pour 100 de la matière sucrée totale. C'est d'ailleurs ce qu'atteste l'analyse suivante, faite sur le jus d'une canne isolée, prise parmi les plus avancées :

Sucre cristallisable. . .	14,90	pour 100cc de jus.
Sucre réducteur. . . .	1,48	

Le sucre réducteur n'entre plus que pour 9,03 pour 100 dans la matière sucrée totale.

Ces résultats, si l'on parvenait à les rendre constants, seraient véritablement précieux pour l'industrie sucrière. Essayons donc d'apprécier ce que fournirait un hectare de sorgho cultivé de manière à donner des produits analogues à ceux de ma récolte de 1862.

On peut estimer en moyenne à 60 pour 100 du poids des cannes le jus que l'on en peut obtenir. Cette quantité peut s'élever un peu avec des presses très-énergiques, mais les dernières portions exigent une dépense de force qui n'est point compensée par leur valeur ; il est donc préférable de les abandonner. Un hectare de sorgho produisant 5,000 kilog. de tiges fournira donc 300 hectolitres de jus, contenant en moyenne 13,57 pour 100 de sucre cristallisable, soit 4,071 kilog. pour les 300 hectolitres. Le sucre réducteur existant, en moyenne aussi, dans la proportion de 1,19 pour 100, les 300 hectolitres de jus en contiendront 357 kilog. Donc en somme le produit en sucre d'un hectare se subdivise ainsi qu'il suit :

Sucre cristallisable.	4071^k
Sucre réducteur.	357
Somme. . . .	4428^k

Si l'on admet que le sucre réducteur empêche de cristalliser deux fois son poids de sucre prismatique, il restera encore 3,357 kilogrammes de sucre parfaitement cristallisable et 1,071 kilogrammes de mélasse.

Qu'au lieu de faire cristalliser le sucre on fasse fermenter le jus pour en retirer de l'alcool, la totalité du sucre éprouvant la fermentation, le produit théorique en alcool sera de 2,263^{k}593, soit 28 hectolitres d'alcool absolu.

La betterave donne en moyenne, d'après les rensei-

gnements officiels de 1,500 à 1,600 kilogrammes de sucre brut à l'hectare, et, selon M. Payen, 26 hectolitres d'alcool à 50°, soit seulement 15 hectolitres d'alcool absolu.

On voit que les produits du sorgho, soit en sucre, soit en alcool, sont à peu près doubles de ceux de la betterave. En supposant donc que dans la pratique les chiffres que je viens de donner se réduisent de moitié, on tomberait encore sur des rendements égaux à ceux de la betterave et la culture du sorgho resterait fort avantageuse.

2. Extraction du sucre.

La forte proportion de matière sucrée contenue dans la tige du sorgho devait naturellement faire concevoir de hautes espérances industrielles. Dès le début, en effet, les distillateurs et les fabricants de sucre ont eu les yeux fixés sur lui et l'ont interrogé à plusieurs reprises par des essais en général malheureux. Grâce au zèle et à l'habileté bien connus de M. Leplay, plusieurs usines ont pu être organisées et produisent aujourd'hui de l'alcool de sorgho en quantités importantes. Son alcoolisation est donc un fait acquis à l'industrie, mais il n'en est pas de même de l'extraction du sucre.

Les tentatives dirigées sur ce point ont été jusqu'ici suivies d'insuccès, et il était difficile qu'il en fût autrement. En général, on s'est contenté de répéter sur le sorgho les procédés auxquels on a l'habitude de sou-





mettre les jus de canne et de betterave. Or, nous allons montrer qu'avec le sorgho ces procédés ne peuvent conduire à de bons résultats qu'au moyen de modifications profondes. En second lieu, personne ne s'est encore préoccupé de fixer les conditions dans lesquelles le sorgho doit être cultivé et récolté pour produire des jus exploitables, et nous savons que ces jus peuvent offrir sous ce rapport d'importantes variations.

J'ai précédemment justifié l'espoir d'améliorer les jus de sorgho par la culture. Supposant donc ici le seul cas où la sucrerie soit possible, c'est-à-dire celui de jus très-pauvres en sucre réducteur, je vais indiquer rapidement les moyens que mes expériences m'ont conduit à adopter pour extraire le sucre cristallisable.

J'ai montré que la récolte devait se faire à la maturité des graines; mais cette notion fondamentale ne suffit pas à la sucrerie. Il faut encore savoir si toutes les parties de la tige ont la même valeur, afin de rejeter celles qui seraient inférieures. Pour me renseigner à cet égard, j'ai analysé les jus provenant des divers entrenœuds de la tige, et voici les résultats que j'ai obtenus en opérant sur des sorghos arrivés à maturité.

Cinq tiges ont été récoltées à Valence le 14 octobre 1861. Les graines étaient mûres, les feuilles encore vertes et la végétation ne paraissait pas terminée, car à divers nœuds apparaissaient des bourgeons latéraux en voie de développement.

Les entrenœuds de même rang ont été réunis et

pressés ensemble ; on a ainsi obtenu neuf jus dont voici les analyses :

POUR CENT EN VOLUME.	Nos D'ORDRE DES NŒUDS A PARTIR DU SOL.									MOYENNES.
	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.	N° 8.	N° 9.	
Sucre cristallisable.	9.17	12.26	13.18	11.68	12.66	12.78	12.10	11.92	12.40	12.01
Sucre réducteur.	3.51	3.70	2.73	2.73	1.70	1.58	1.61	1.80	1.29	2.29
Somme. . . .	12.68	15.96	15.91	14.41	14 36	14.36	13.71	13.72	13.69	14.30

On voit par ce tableau que le premier entrenœud est le moins riche en sucre cristallisable en même temps que l'un des plus chargés en sucre réducteur. On a vu d'ailleurs, page 62, qu'il était aussi plus chargé que les autres de matières salines. Il sera donc utile de le supprimer. Toutefois son influence mauvaise n'est pas d'une importance telle que l'on doive s'en faire une règle absolue.

Les tiges devront donc être coupées à 15 ou 20 centimètres du sol si l'on abandonne le premier entrenœud, et, dans le cas contraire, le plus bas possible. Elles seront immédiatement dépouillées de leurs épis et de leurs feuilles et passées à la presse. Si on les conserve quelque temps elles subissent une altération lente dont le premier effet est de transformer le sucre cristallisable en sucre réducteur. Le tableau suivant donnera une idée de la marche de cette altération.

Les cannes analysées ont été récoltées toutes le même jour, sur le même terrain et au même degré de maturité; on les a immédiatement nettoyées et placées à la cave, où elles ont été conservées pendant toute la durée de l'expérience. Chaque analyse a été faite sur un jus moyen provenant de trois tiges prises çà et là dans la masse et représentant par conséquent sa composition moyenne au moment de l'analyse.

POUR CENT EN VOLUME.	JOUR DE L'EXPÉRIENCE A DATER DE LA RÉCOLTE.					
	1er JOUR.	7e JOUR.	15e JOUR.	20e JOUR.	30e JOUR.	45e JOUR.
Sucre cristallisable. . .	15.47	17 05	14.12	15.62	13.68	8.32
Sucre réducteur. . . .	1.71	2.20	3.26	3.89	6.64	13.73
Somme des sucres. . .	17.18	19.25	17.38	19.51	20.32	22.05

La somme des sucres s'élève un peu parce que les tiges se dessèchent, et que, par conséquent, leur jus se concentre. Le sucre cristallisable diminue, et le sucre réducteur augmente au contraire d'autant plus vite que la conservation se prolonge davantage. La marche de cette altération serait encore plus rapide si les cannes étaient conservées à une température un peu élevée.

Ces résultats me conduisent à penser qu'il faut absolument renoncer à toute idée de conservation, au moins en vert. Quant à la conservation après dessiccation, elle pourrait, ce me semble, conduire à de bons résultats,

pourvu que les plantes fussent desséchées assez rapidement et à une température assez basse pour que les sucres ne subissent aucune transformation.

M. Leplay ayant annoncé, en 1858[1], des études sur ce point, je n'ai moi-même tenté aucune expérience, persuadé qu'entre les mains de cet habile industriel la question marcherait plus vite et plus sûrement qu'elle ne pourrait le faire entre les miennes.

En attendant donc que M. Leplay fasse connaître ses résultats, je conseillerai d'envoyer les cannes de sorgho à la presse le plus tôt possible après la récolte. Le système d'expression qui convient ici le mieux est celui que l'on emploie pour la canne et qui consiste en une batterie de cylindres faisant fonctions de laminoirs. On peut aussi couper les tiges en tronçons au moyen d'un hache-paille, les écraser sous une meule de pierre et exprimer la pulpe ainsi obtenue au moyen d'une presse hydraulique ou même d'un pressoir à vis. C'est là le moyen que j'ai employé dans mes diverses expériences, parce qu'ainsi je n'avais pas besoin de recourir à des instruments spéciaux, mais les rendements restent de beaucoup inférieurs à ceux que l'on peut obtenir avec les moulins à cannes.

Les tiges de sorgho exprimées dans de bonnes conditions fournissent, comme je l'ai dit plus haut, environ

[1] *Journal de pharmacie et de chimie*, mai 1858, tome XXXIII, 3e série, page 336.

60 pour 100 de leur poids en vesou. Il reste une bagasse abondante et encore suffisamment sucrée pour qu'il y ait intérêt à la traiter par macération. Elle peut ainsi fournir une certaine quantité d'alcool. On peut aussi la faire manger aux bestiaux, comme celle des betteraves, sur laquelle elle présente d'ailleurs l'avantage d'être plus facile à conserver et à transporter. Mais son usage par excellence est, comme je l'ai dit précédemment, la préparation de l'engrais destiné à conserver au sol sa fertilité.

Le jus obtenu est d'un beau vert glauque ; il marque de 10° à 12° Baumé. Si on l'abandonne 24 heures dans une éprouvette, on trouve au fond de celle-ci un dépôt plus ou moins considérable de fécule mêlée de chlorophylle. Cette matière amylacée est extrêmement fine ; ses globules ont au plus $0^{mm},005$ et le plus souvent ne dépassent pas $0^{mm},001$ de diamètre. Elle reste en suspension avec une grande persistance et passe même à travers les filtres de papier. Le jus contient en outre une certaine quantité d'albumine végétale qui s'y transforme en ferment et tend à provoquer la fermentation visqueuse. La réaction du jus, tel qu'il s'écoule de la presse, est ordinairement neutre, quelquefois légèrement acide. Cette acidité ne tarde pas à s'accroître si l'on conserve le jus et surtout si on le soumet à l'action de la chaleur. On observe même que, dans ces conditions, le sucre cristallisable se transforme rapidement en sucre réducteur.

Si donc l'on veut faire cristalliser le sucre, la pre

mière condition à remplir est de neutraliser le vesou et d'éliminer promptement la matière albuminoïde. Pour atteindre ce but on serait tenté de soumettre le jus de sorgho à un système de défécation analogue à ceux que l'on applique aux vesous de canne ou de betterave. Mais dans tous ces procédés on emploie la chaleur; or, il suffit d'élever la température du jus à 80° seulement pour que la fécule se tuméfie déjà considérablement et se transforme même en partie en dextrine. J'ai fréquemment vu des jus de sorgho, simplement chauffés à 70° ou 80°, donner, après refroidissement et filtration, une coloration intense en bleu ou en rouge à la teinture d'iode. Or, la fécule, une fois tuméfiée ou dissoute, suit le sucre dans les sirops et s'oppose à la cristallisation avec une énergie encore plus grande que ne le fait le sucre incristallisable. La raison en est d'ailleurs très-simple: pour que le sucre commence à cristalliser il faut que le rapport de sa quantité à celle de l'eau qui le dissout soit minimum; or, ce minimum ne peut être atteint si des matières gommeuses ou féculentes se trouvent en présence. Bien avant d'y arriver le sirop acquiert une telle densité qu'il est impossible de l'évaporer davantage.

Il fallait donc de toute nécessité recourir à un système de défécation à froid. Pour cela il suffisait d'ajouter au jus un réactif susceptible de coaguler l'albumine et d'être ensuite éliminé. J'ai eu successivement recours au sulfate de peroxyde de fer, au sulfate d'étain et à l'alcool. On se débarrasse de l'excès des deux premiers sels au

moyen de la chaux et de l'excès de chaux au moyen de l'acide carbonique. Ces deux procédés produisent une déféeation parfaite lorsque l'on opère en petit; mais en grand, les précipités qu'ils produisent deviennent tellement encombrants que je me suis vu obligé d'y renoncer, à cause du temps extrêmement long qu'exige la clarification des jus.

Je ne m'arrêterai donc ici qu'au procédé par l'alcool. Au sortir de la presse le jus est immédiatement saturé par un peu de chaux, mélangé avec son volume d'alcool à 84° et abandonné au repos. Le lendemain on peut décanter la plus grande partie du liquide parfaitement clair. Le reste est jeté sur une toile ou enfermé dans des sacs qui s'égouttent rapidement et que l'on peut soumettre à la presse pour en extraire les dernières portions de jus alcoolique. Les résidus exprimés contiennent l'albumine et la féeule; ils peuvent être employés à la nourriture du bétail, ou mieux, saccharifiés par la diastase et transformés en alcool. Les vinasses qui en résultent sont alors employées avec toutes les autres à la fabrication de l'engrais.

Le liquide alcoolique clair est soumis à la distillation pour en retirer l'alcool, et il reste dans la chaudière de l'alambic un sirop qui, évaporé à la vapeur jusqu'au degré de cuite, se colore à peine et fournit une facile et abondante cristallisation. Si l'on désire obtenir de premier jet du sucre très-blanc, il suffit de faire intervenir une petite quantité de noir animal, au moyen d'un filtre

Dumont que traverse le jus au sortir de la cucurbite de l'alambic où il a été distillé et avant de se rendre dans la chaudière à évaporer.

Ce procédé, auquel on peut reprocher l'emploi d'une substance chère, l'alcool, en assez grande quantité, a d'ailleurs de nombreux avantages. Il s'oppose à toute fermentation; le jus, une fois mélangé d'alcool, peut être conservé sans altération; enfin on peut, sans faire usage de noir, obtenir néanmoins une très-belle cassonade blonde: car si l'on a eu soin de n'ajouter que la chaux nécessaire à la saturation, les alcalis restant combinés à leurs acides ne viennent pas, comme dans les défécations ordinaires, colorer le sucre incristallisable pendant l'évaporation. Si d'ailleurs l'on craint de dépasser la saturation par la chaux on peut la remplacer par de la magnésie ou même par une petite quantité de sulfite de soude. Cette saturation est indispensable toutes les fois que le jus est acide, car l'expérience m'a montré que l'acide naturel des jus avait la propriété d'intervertir une assez forte quantité de sucre cristallisable pendant la distillation et la cuite des sirops.

Dans une usine bien organisée où l'on posséderait un appareil distillatoire perfectionné, les pertes d'alcool pourraient être rendues très-minimes, et d'ailleurs on en produirait bien au delà du besoin en distillant tous les résidus impropres à la fabrication du sucre, tels que: cannes qui, sur la fin de la saison, ne sont pas arrivées à maturité, eaux de lavage des bagasses, mélasses incris-

tallisables, fécules précipitées par l'alcool pendant la défécation, sans parler de la graine, qu'il serait très-avantageux de convertir en alcool, comme je l'ai dit précédemment.

La conséquence à tirer de ce que je viens d'exposer me semble être en faveur de la possibilité de fabriquer du sucre avec le sorgho, mais seulement à certaines conditions :

1° On ne devra employer que des tiges dont la graine soit arrivée à maturité;

2° On devra saturer et déféquer les jus à froid immédiatement au sortir de la presse.

Parmi les moyens qui satisfont à cette dernière condition je recommanderai spécialement la chaux ou mieux la magnésie ou le sulfite de soude pour la saturation et l'alcool pour la défécation.

Je rappellerai toutefois que l'extraction du sucre n'est possible qu'avec des jus peu chargés de sucre incristallisable. Tous les jus, au contraire, se prêtent à la fabrication de l'alcool et comme, d'après ce qui précède, la sucrerie exige tous les appareils nécessaires à la distillation, j'estime que tout industriel désireux d'exploiter le sorgho, devra commencer par le distiller. Il ne songera à en extraire le sucre que lorsque l'analyse lui aura montré que ses jus ont acquis la richesse nécessaire. Ce système d'industrie mixte présente d'ailleurs au point de vue agricole l'immense avantage de réaliser la su-

crerie comme annexe de la ferme. Il suffira, en effet, d'ajouter quelques appareils assez simples à une distillerie agricole de sorgho pour la transformer en fabrique de sucre. Les cuves de fermentation serviront à la défécation par l'alcool, l'alambic servira à la première concentration des jus; il ne faudra donc avoir en plus que quelques chaudières à vapeur pour la cuite et des cristallisoirs pour la préparation des cassonades.

CHAPITRE IV

PRODUITS DE LA GRAINE

A la maturité les semences du sorgho restent, comme je l'ai montré dans la description botanique, enveloppées des bales et de la glume. Ce que l'on trouve dans le commerce sous le nom de graine de sorgho est donc l'ensemble de ces diverses parties. J'ai cherché à séparer les organes les uns des autres par des moyens mécaniques, et, grâce à l'obligeance de M. Ménier, j'ai pu y parvenir avec une grande perfection. Le travail a été exécuté à l'usine de Noisiel sous la surveillance de M. Billaut, alors employé chez M. Ménier, et qui avait bien voulu me prêter son intelligent concours pour cette expérience.

L'appareil employé consistait en une meule cylindrique en grès de $1^m,20$ de diamètre sur $0^m,33$ de hauteur, tournant, avec une vitesse de 250 tours par minute, dans une enveloppe en tôle piquée, c'est-à-dire percée au

poinçon de trous dont les bavures regardent l'intérieur de l'appareil et forment de la surface interne de la tôle une sorte de râpe. Ces trous ont un diamètre de $0^m,002$. L'espace compris entre la meule et l'enveloppe-râpe est de $0^m,02$, et une trémie convenablement disposée y amène les graines

L'expérience a porté sur $24^k,700$ de graines de sorgho. Au bout de 10 minutes de rotation, on a passé au tarare qui a séparé une petite quantité de glumes noires. On a remis à la meule, et après une nouvelle rotation de 20 minutes, on a de nouveau séparé les glumes et l'on a répété ainsi jusqu'à huit opérations. Pendant les quatre premières, la matière qui passait au travers des trous de la tôle était une poudre rougeâtre très-légère formée par les débris des paléoles, paillettes et fleur unipaléacée membraneuse. Cette poudre rouge, que j'appelle premier son a pesé $6^k,600$ A partir de la cinquième opération, le son n'était plus rouge, il était jaunâtre mêlé de blanc et provenait alors du péricarpe, de l'épisperme et même d'un peu d'endosperme de la graine. On l'a recueilli à part et pesé ; il y en avait $3^k,350$.

Les glumes noires rassemblées et criblées pesaient $3^k,500$. Le premier son en avait retenu une petite quantité.

Il restait enfin un gruau très-blanc, mêlé encore de quelques grains noirs échappés à cause de leur petitesse, et qu'il est d'ailleurs facile de séparer à la main. Le gruau pesait $7^k,800$.

Les 24k,700 de graines employées se décomposaient donc ainsi qu'il suit :

Gruau.	7k800
Glumes noires.	3,500
1er son rouge.	6,600
2e son jaune.	3,356
Perte.	3,450
	24k700

La perte considérable que l'on observe dans ce travail s'explique par deux considérations: 1° la petite quantité de matière soumise à l'expérience au moyen d'appareils destinés à travailler sur des quantités beaucoup plus considérables : dans une fabrication continue, la perte provenant des appareils se réduirait à fort peu de chose ; 2° l'échauffement des graines sous l'influence de la rotation de la meule. Cet échauffement est tel que la graine durcit beaucoup et diminue de volume en perdant une certaine quantité d'eau.

Le gruau obtenu se pulvérise facilement et fournit presque son poids d'une farine très-belle, d'une blancheur légèrement rosée et un peu grenue au toucher. Comme résidu de la pulvérisation, il reste une petite quantité de matière blanche qui s'agrége sous le pilon et qui, délayée dans un peu d'eau, s'y gonfle rapidement et forme une colle très-solide.

On ne peut obtenir la farine du sorgho que par des moyens analogues à ceux que je viens de décrire, c'est-à-dire en transformant d'abord la graine en gruau que

l'on réduit ensuite en farine. Les moyens ordinaires de mouture, quelle que soit d'ailleurs la perfection du blutage, laissent toujours dans la farine une certaine quantité de son qui la colore d'une manière intense. Cela tient à ce que l'épisperme et le péricarpe sont très-friables et se pulvérisent aussi bien que l'endosperme lui-même. Il est donc indispensable de les séparer avant de pulvériser ce dernier.

Si nous appliquons par le calcul les résultats qui précèdent à la récolte en graine d'un hectare, nous trouverons que les 5,000 kilogrammes qui représentent la récolte moyenne se subdiviseraient par la mouture de la manière suivante :

	POUR 100.	POUR 5000 KILOG.
Gruau ou farine.	31,58	1579k000
Glumes noires.	14,17	708,500
1er son rouge.	26,72	1336,000
2e son jaune	13,56	678,000
Perte	13,97	698,500
Total. . . .	100,00	5000k000

Il nous reste à apprécier la valeur alimentaire ou industrielle de ces divers produits.

Le gruau de sorgho présente avec le riz une très-grande analogie. Il se prête facilement à la plupart de ses usages culinaires et pourrait lui être substitué d'une manière assez générale.

La farine que l'on retire de sa mouture se gonfle beaucoup dans l'eau bouillante et produit une colle très-tenace. Si on malaxe cette farine sous un filet d'eau

pour séparer le gluten de l'amidon, comme on le ferait avec de la farine de froment, elle ne se comporte en aucune façon de la même manière. Ce qui passe à travers le linge est composé, comme ce qui reste dans son intérieur, par des grains de farine intacts formés par l'agrégation d'un grand nombre de grains de fécule. Cette difficulté de la séparation du gluten tient à ce que les grains de fécule ainsi que la matière azotée se trouvent enfermés dans des cellules (fig. 18) qui ne se brisent que très-incomplétement par la pulvérisation. Cette circonstance rend très-difficile, pour ne pas dire impossible, l'extraction de l'amidon du sorgho.

Ces expériences négatives pouvaient conduire, sinon à douter de la présence du gluten dans le sorgho, au moins à craindre que le principe albuminoïde n'y fût contenu qu'en très-faible proportion. Pour me renseigner à cet égard, j'ai analysé la farine, et les résultats que j'ai obtenus, montrent que sa composition se rapproche beaucoup de celle du froment.

Voici la composition comparée des deux graines :

		FROMENT D'ALSACE. (Boussingault.	SORGHO.
Carbone.	46,10	95,50	95,68
Hydrogène.	5,80		
Oxygène.	43,40		
Azote.		2,29	2,10
Cendres		2,41	2,22
		100,00	100,00

On voit que la richesse en azote et en matières salines

ne présente, chez le sorgho, qu'une faible infériorité. Voici d'ailleurs la composition immédiate des deux farines.

	FROMENT D'ALSACE. (Boussingault.)	SORGHO.
Gluten. . . . . . . 12,8 / Albumine. 1,8	14,6	11,75
Amidon.	59,7	46,51
Dextrine	7,2	0,00
Matières grasses.	1,2	5,00
Cellulose	1,7	21,60
Sels minéraux.	1,6	2,00
Eau.	14,0	12,00
Perte.	?	1,14
	100,0	100,00

COMPOSITION DES CENDRES.

	FROMENT D'ALSACE. (Boussingault.)	SORGHO.
Potasse.	30,12	32,96
Chaux.	3,00	3,26
Magnésie	16,26	11,02
Oxyde de fer.	—	Traces.
Oxyde de magnésie	—	Traces.
Acide phosphorique.	48,50	47,87
Acide sulfurique	1,01	0,00
Silice.	1,31	4,89
	100,00	100,00

On voit par ces analyses que la principale différence qui existe entre le blé et le sorgho consiste dans une proportion un peu plus faible de matières azotées et d'amidon compensée par un excès considérable de cellulose. Si l'on observe d'ailleurs que le rapport entre l'amidon et les matières azotées est à peu près le même dans les deux farines, on sera conduit à admettre que la

valeur alimentaire du sorgho serait la même que celle du blé s'il ne contenait pas 20 p. 100 environ de matière inerte. On peut conclure de là que la farine du sorgho a une valeur alimentaire inférieure à celle du blé d'environ un cinquième. Quant à la composition des sels, il ressort des analyses qu'elle est sensiblement la même. La silice seule est un peu plus abondante dans le sorgho que dans le blé.

Si donc l'on ne considérait que sa composition chimique, la farine du sorgho semblerait très-propre à la fabrication du pain. Malheureusement, sa pâte n'ayant pas les propriétés plastiques nécessaires, elle ne produit qu'un pain massif et lourd, d'assez mauvaise qualité. Si jamais le sorgho s'introduit dans la panification, ce ne pourra guère être qu'en mélange avec le froment. Mais, en attendant que cette application s'essaye et se réalise, les gruaux et les farines de sorgho peuvent être employés à la confection de tous les aliments pour lesquels le riz est actuellement en usage avec l'avantage d'offrir un aliment plus riche en azote.

Le sorgho s'était à peine montré en France que déjà l'on concevait à son sujet de brillantes espérances. M. Sicard, de Marseille, a publié dans sa *Monographie de la canne à sucre du nord de la Chine*, dite sorgho sucré, un long article sur la mouture et la panification de la graine de cette graminée. Malgré l'optimisme d'inventeur qui règne dans tout cet ouvrage, il est facile de voir que les résultats obtenus par M. Sicard étaient loin d'être

satisfaisants. D'ailleurs, j'ai vu aux Expositions de Paris les échantillons de pain envoyés par M. Sicard, et la couleur violacée, la densité extrême et le goût désagréable de ces échantillons m'ont convaincu de l'insuccès des essais tentés jusqu'ici. Il en sera peut-être autrement lorsqu'on emploiera, comme je l'ai fait et décrit plus haut, un système de mouture avec décortication préalable, et lorsque l'on aura déterminé par l'expérience la quantité de farine de froment qu'il convient de mélanger à celle du sorgho. Les analyses que j'ai rapportées me semblent donner un grand intérêt à ces expériences.

Le système de mouture que j'ai adopté m'a fourni les glumes noires parfaitement séparées des graines. Ces glumes doivent leur coloration à une grande quantité de matière colorante rouge, signalée par M. Sicard sous les noms de sorghine, sorghotine, etc. Ces noms semblent indiquer que l'auteur a cru avoir affaire à des espèces chimiques distinctes, mais il est très-facile, en lisant la description de ses procédés d'extraction, de se convaincre qu'il a ainsi désigné des extraits aqueux et alcooliques. Il en est de même, d'ailleurs, des nombreuses matières colorantes que le même auteur prétend avoir extraites du sorgho; aussi les passerai-je entièrement sous silence pour ne m'arrêter qu'aux principes rouges contenus dans les glumes, les seuls qui me paraissent mériter quelque attention.

Si l'on fait tremper dans l'alcool, pendant quelques jours, des glumes de sorgho, le liquide prend une colo-

ration rouge intense ; mais la quantité de matière colorante qui se dissout est très-limitée. L'évaporation de l'alcool laisse un résidu d'un rouge carmin magnifique, mais en quantité presque inappréciable. Ces mêmes glumes, traitées par les alcalis, produisent une liqueur très-chargée de couleur violette-rouge d'abord, passant très-rapidement au bistre, probablement par oxydation. Les acides précipitent de la dissolution une poudre amorphe de couleur bistrée et très-abondante. Les acides sulfurique et acétique mis en contact avec les glumes se chargent d'une certaine quantité de matière colorante qu'une addition d'eau précipite en tout ou en partie. Ces acides prennent une coloration rouge-orange ou rouge-sang, suivant qu'ils sont dilués ou concentrés.

J'ai fait agir sur les glumes de sorgho un grand nombre de dissolvants, et aucun d'eux n'a pu en extraire directement une quantité importante de matière colorante. La cause qui s'opposait à l'action des dissolvants m'a paru résider dans la densité extrême du tissu des glumes, et j'ai pensé qu'une désagrégation préalable faciliterait beaucoup l'extraction du principe colorant. Le pilon échouant complétement, j'ai eu recours à l'acide sulfurique, qui, employé à un degré de concentration convenable, m'a permis de pulvériser les glumes sans nuire à la matière colorante. L'opération est des plus simples : il suffit, en effet, d'arroser les glumes avec deux fois leur poids d'acide sulfurique à 66° B., étendu de 20 pour 100 d'eau en volume et refroidi. On agite le

mélange de temps en temps, et au bout de vingt-quatre heures on trouve le tout en pâte liquide; on ajoute une grande quantité d'eau et on laisse reposer. Il se sépare une poudre brune-violette très-abondante, surnagée d'un liquide jaune clair. On lave le précipité par décantation, jusqu'à ce que l'eau de lavage ne soit plus acide au papier de tournesol. La poudre est alors recueillie sur une toile et séchée. Les glumes produisent ainsi 50 à 51 pour 100 de leur poids d'une matière que l'on peut piler et tamiser, et qui se laisse beaucoup plus facilement attaquer par les dissolvants, notamment par l'alcool bouillant. Ce menstrue en extrait, en effet, un principe qui lui communique une belle couleur rouge-sang, et l'évaporation de la teinture laisse un extrait d'une grande puissance colorante. C'est à l'aide de ce produit que j'ai tenté quelques essais de teinture et que j'ai obtenu sur soie et sur laine des nuances qui auraient certainement mérité de fixer l'attention de l'industrie, si la découverte récente des matières colorantes extraites des goudrons de houille n'était venue enlever tout l'intérêt qui pouvait s'attacher à ce genre de recherche. Sans donc insister davantage sur le principe colorant des glumes de sorgho, je me contenterai de dire que son altération rapide sous l'influence des alcalis ne permet pas de l'employer en teinture dans des bains alcalins. Dans les bains acides, au contraire, il conserve toute sa valeur et se fixe sur soie et sur laine avec assez de facilité, principalement avec le mordant d'étain.

Le produit que j'ai désigné sous le nom de premier son peut aussi servir à la préparation de la matière colorante; seulement il en fournit beaucoup moins.

Après ce que je viens d'exposer, on est en droit d'espérer qu'un jour la graine de sorgho devienne la matière première de plusieurs applications industrielles. Mais, en attendant que la pratique se prononce à cet égard, je crois que le meilleur parti que l'on en puisse tirer est de la soumettre à la distillation. De cette manière, en effet, son azote et ses principes minéraux retourneront au sol, et l'alcool produit constituera un bénéfice assuré sans rien faire perdre au domaine.

La graine de sorgho, telle qu'on la récolte, c'est-à-dire enveloppée de ses glumes, produit environ le tiers de son poids en farine contenant à peu près 50 pour 100 d'amidon, soit 15 pour 100 de la graine. L'amidon fournissant à peu près la moitié de son poids d'alcool absolu, on peut estimer de 6 à 7 pour 100 du poids de la graine la quantité d'alcool que l'on en peut extraire, soit pour un hectare donnant 5,000 kil. de grains, 300 à 350 kil. d'alcool absolu, produisant 6 à 7 hectolitres d'alcool à 50°. Par cette quantité d'alcool, la graine viendrait largement en aide à la fabrication du sucre par la méthode que j'ai indiquée précédemment.

CONCLUSIONS

Le sorgho est donc, en définitive, une plante qui, au point de vue agricole et industriel, peut se suffire à elle-même.

Par la grande quantité de substance qu'elle élabore en une saison, elle est éminemment propre au travail de transformation de la matière brute en matière utile, travail qui est au fond le seul objet de l'agriculture.

Sa culture peut être largement rémunératrice pour ceux qui l'entreprendront, et cela sans amoindrissement de la fertilité du sol, mais seulement aux conditions suivantes :

1° Une sucrerie-distillerie, ou tout au moins une distillerie, sera annexée à la ferme.

2° Tout ce qui n'est pas sucre ou amidon, ou produits de leurs transformations, retournera au sol.

3° Pour commencer le travail, le sol recevra une dose d'engrais minéraux et azotés équivalente à l'épuisement d'une récolte.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE PREMIER

CONSTITUTION CHIMIQUE DU SUCRE DE CANNE

Bien que le sucre de canne soit très-anciennement connu, c'est à Gay-Lussac et Thénard que la science doit la première analyse qui en ait été faite. Si l'on cherche à exprimer en équivalents les résultats qu'ils ont obtenus, on arrive à la formule $C^{12}H^{11}O^{11}$, la plus simple qui puisse représenter le sucre de canne. Lorsque MM. Dumas et Boullay étudièrent le glucose que produisait la fécule sous l'influence des acides, ils lui trouvèrent une composition conduisant à des équivalents égaux de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, ce qu'ils exprimèrent par la formule $C^{12}H^{12}O^{12}$. La comparaison de ces deux formules semblait indiquer entre les corps qu'elles représentent une différence assez légère, puisqu'il aurait

suffi d'ajouter à l'une un équivalent d'eau ou ses éléments pour reproduire l'autre. D'ailleurs la facilité avec laquelle le sucre de canne $C^{12}H^{11}O^{11}$ se transformait en sucre réducteur $C^{12}H^{12}O^{12}$ sous les influences hydratantes était une grave raison en faveur de cette opinion. Toutefois la réaction inverse, c'est-à-dire la transformation du glucose en sucre de canne, par la suppression d'un équivalent d'eau, était nécessaire pour faire de la relation des formules une relation de faits, et malgré de nombreuses tentatives cette transformation n'avait pu être opérée. En pareille matière l'insuccès d'une expérience n'a pas une valeur absolue comme preuve négative, puisqu'il peut tenir à ce que les conditions indispensables n'ont pu être encore toutes réalisées. Cependant la vraisemblance de l'opinion qui regardait le glucose comme un hydrate du sucre de canne s'en trouvait considérablement diminuée. On devait donc douter de cette interprétation, et nous nous rappelons encore la sage réserve avec laquelle nos éminents professeurs exposaient dans leurs cours, il y a une huitaine d'années, tout ce que l'on savait alors de plus probable sur la constitution moléculaire des sucres.

Depuis cette époque, la synthèse organique, si habilement maniée par M. Berthelot, avait fait naître de nouvelles espérances sur la production artificielle du sucre de canne, et, bien qu'elles ne se soient point encore réalisées, on est du moins en droit de dire qu'aujourd'hui la question s'est beaucoup éclaircie et que le

problème se trouve posé dans des termes plus précis et sur un terrain mieux assuré.

Il résulte, en effet, des études auxquelles M. Dubrunfaut s'est livré sur le sucre incristallisable, que le passage du sucre de canne à la formule $C^{12}H^{12}O^{12}$ n'est point une simple hydratation, mais bien un véritable dédoublement. Le sucre incristallisable n'est plus une espèce particulière, mais un mélange à équivalents égaux de deux sucres, isomères il est vrai, cependant parfaitement distincts par leurs pouvoirs rotatoires et par la propriété de former avec la chaux des composés d'une solubilité notablement différente. De ces deux corps, l'un est le glucose de fécule $C^{12}H^{12}O^{12}$, dont le pouvoir rotatoire est + 56, qui cristallise en masse mamelonnée et donne avec la chaux un composé assez soluble dans l'eau; l'autre est un sucre nouveau, ayant la même formule, mais ne cristallisant pas, formant avec la chaux un composé presque insoluble dans l'eau et déviant de 106° à gauche à 15°, propriété qui lui a fait donner par M. Berthelot le nom de lévulose. Le mélange de ces deux corps devait avoir un pouvoir rotatoire moyen entre + 56 et — 106, c'est-à-dire égal à — 25. L'expérience avait établi — 26 pour le pouvoir rotatoire du sucre incristallisable à 15°. La différence est faible et peut être attribuée à une légère incertitude sur le pouvoir rotatoire de la lévulose, substance qu'il est fort difficile d'obtenir chimiquement pure.

Chacun des sucres provenant du dédoublement du

sucre de canne contenant dans sa molécule 12 équivalents de carbone, ce dernier devait évidemment en contenir 24 et sa formule devenait $C^{24}H^{22}O^{22}$. Le dédoublement pouvait alors lui-même être exprimé par l'équation suivante :

$$\underset{\text{Sucre de canne.}}{C^{24}H^{22}O^{22}} + \underset{\text{Eau.}}{2HO} = \underset{\text{Glucose.}}{C^{12}H^{12}O^{12}} + \underset{\text{Lévulose.}}{C^{12}H^{12}O^{12}}$$

Les expériences de M. Dubrunfaut ne laissaient aucun doute sur les faits que je viens d'exposer; mais il restait à se demander si les produits du dédoublement du sucre prismatique préexistaient dans sa molécule, ou bien s'ils étaient le résultat d'une dislocation profonde produite par l'agent (acide ou ferment) qui avait déterminé la transformation.

M. Gélis[1] a fait connaître un second dédoublement du sucre de canne qui, donnant lieu à des produits analogues dans des circonstances fort différentes, milite en faveur de la préexistence des deux glucoses dans la molécule du sucre prismatique.

Si l'on soumet à une température de 160° du sucre prismatique pendant quelques heures, il se transforme sans perte de poids en une masse vitreuse que l'eau dissout et qui contient un sucre réducteur. Si l'on fait agir sur la dissolution le ferment alcoolique, la moitié seulement de la matière fermente, et il reste une substance incristallisable, à pouvoir rotatoire gauche, et dont la

[1] *Annales de chimie et de physique*, 3e série ; tome 57, page 234.

formule est $C^{12}H^{10}O^{10}$. Le dédoublement peut donc être exprimé par l'équation suivante :

$$\underset{\text{Sucre de canne.}}{C^{24}H^{22}O^{22}} = \underset{\text{Glucose.}}{C^{12}H^{12}O^{12}} + \underset{\text{Lévulosane.}}{C^{12}H^{10}O^{10}}$$

Ce corps, qui résiste à l'action du ferment, se transforme lui-même en lévulose par la fixation de deux équivalents d'eau lorsqu'on le soumet à des actions hydratantes. Il est donc lié à la lévulose par le même rapport que la mannitane à la mannite ; c'est pourquoi M. Berthelot lui a donné le nom de lévulosane, à la place de celui de saccharide, que lui avait imposé M. Gelis[1].

Ces deux dédoublements ont conduit M. Berthelot à considérer le sucre de canne comme le produit de la réunion synthétique des deux glucoses avec élimination de deux équivalents d'eau

$$\underset{\text{Glucose.}}{C^{12}H^{12}O^{12}} + \underset{\text{Lévulose.}}{C^{12}H^{12}O^{12}} - \underset{\text{Eau.}}{2HO} = \underset{\text{Sucre de canne.}}{C^{24}H^{22}O^{22}}$$

comme la monoacétine résulte de la réunion de la glycérine à l'acide acétique avec élimination de deux équivalents d'eau.

$$\underset{\text{Glycérine.}}{C^{6}H^{8}O^{6}} + \underset{\text{Acide acétique.}}{C^{4}H^{4}O^{4}} - \underset{\text{Eau.}}{2HO} = \underset{\text{Monoacétine.}}{C^{10}H^{10}O^{8}}$$

L'analogie que M. Berthelot a démontrée exister entre les fonctions chimiques de la glycérine et celles

[1] Berthelot, *Chimie organique fondée snr la synthèse*, tome II, page 256.

des glucoses donne une grande vraisemblance à cette manière de voir qui ferait du sucre de canne un éther mixte de deux alcools polyatomiques, de même que l'éther méthyléthylique est un éther mixte de deux alcools monoatomiques.

$$C^6H^8O^2 = C^4H^6O^2 + C^2H^4O^2 - 2HO$$

Éther méthyléthylique.	Alcool ordinaire.	Alcool méthylique.	Eau.

Dans cette hypothèse le dédoublement sous l'influence des acides ne serait autre chose qu'une saponification par l'eau, et le dédoublement de M. Gélis une saponification par la chaleur.

Ces idées conduisent tout naturellement à la conception de la possibilité d'une synthèse du sucre par l'union directe de la lévulose avec le glucose ordinaire sous une influence déshydratante ; mais jusqu'ici tous les efforts tentés dans ce but sont restés infructueux, et tant qu'il en sera ainsi, cette brillante théorie, malgré son extrême vraisemblance, malgré la justesse des observations sur lesquelles elle repose, ne sera qu'une hypothèse. M. Berthelot, d'ailleurs, a été le premier à comprendre l'importance d'une synthèse du sucre de canne pour donner à sa théorie toute la valeur d'un fait scientifique établi. Il s'est efforcé de la réaliser et n'a pu jusqu'ici y réussir. Pour expliquer cet insuccès, ce savant admet[1], sous toutes réserves, la possibilité que les constituants du

[1] Berthelot, *Leçons de chimie professées en* 1862 (Société chimique), page 283.

sucre de canne ne soient point, comme nous l'avons admis plus haut, le glucose ordinaire et la lévulose, mais bien des isomères de ces deux corps, lesquels aussitôt désunis donneraient naissance à ces derniers par modification moléculaire isomérique. On comprendrait de cette façon la résistance que présentent la lévulose et le glucose à une recombinaison synthétique, puisqu'il faudrait réaliser préalablement leur retour aux deux sucres isomères qui sont susceptibles de se combiner; mais comme cette hypothèse ne me paraît reposer que sur une vague possibilité, je préfère admettre provisoirement que les conditions dans lesquelles la lévulose et le glucose peuvent se combiner n'ont pas encore été réalisées et conserver l'espérance de cette synthèse dont l'insuccès actuel ne me paraît pas démontrer l'impossibilité. Cependant, avant d'exposer les faits qui me semblent apporter un nouvel appui à l'opinion de M. Berthelot, la seule à laquelle il soit possible de se rattacher dans l'état actuel de la science, je crois nécessaire de signaler encore deux observations qui me paraissent amoindrir d'une manière importante sa valeur rationnelle.

1° La constitution du sucre de canne exprimée par l'équation

$$\underset{\text{Sucre de canne.}}{C^{24}H^{22}O^{22}} = \underset{\text{Glucose.}}{C^{12}H^{12}O^{12}} + \underset{\text{Lévulose.}}{C^{12}H^{12}O^{12}} - \underset{\text{Eau.}}{2HO}$$

exige que l'on adopte pour les glucoses la formule $C^{12}H^{12}O^{12}$, et, par suite, l'exatomicité de leur molécule.

Or, rien, en dehors des glucosides naturels, ne prouve que ce soit là la vraie expression des glucoses. La triatomicité de la glycérine repose sur l'existence de trois composés distincts et que l'on peut reproduire artificiellement :

1° G + a — H
2° G + $2a$ — 2H
3° G + $3a$ — 3H [1]

Pour que l'exatomicité des glucoses et de la mannite fût démontrée, il faudrait avoir constaté l'existence des six composés suivants :

1° S + a — H
2° S + $2a$ — 2H
3° S + $3a$ — 3H
4° S + $4a$ — 4H
5° S + $5a$ — 5H
6° S + $6a$ — 6H [2]

Or, de ces six composés, trois seulement ont pu être obtenus artificiellement : ce sont le 2e, le 4e et le 6e. A ne considérer que les composés artificiels, il serait donc beaucoup plus logique d'admettre pour les glucoses la formule $C^6H^6O^6$, et de les considérer comme triatomiques, ce qu'avait d'abord fait M. Berthelot. De cette façon les trois composés artificiels obtenus forment une série régulière analogue à celle de la glycérine ; mais la constitution des composés naturels qui répondent presque

[1] G représente la glycérine, a un acide monobasique quelconque et H deux équivalents d'eau. Berthelot, *Chimie organique*, tome II, page 28.
[2] Berthelot, *id.*, page 272.

tous à la première relation S+a—H reste inexpliquée. Il n'y a donc jusqu'ici que la seule existence des composés naturels qui puisse autoriser la formule $C^{12}H^{12}O^{12}$; et comme c'est justement leur constitution qu'il s'agit d'expliquer, il faudrait que l'on pût prendre un point d'appui solide en dehors de cette même constitution;

2° L'analyse des composés artificiels a montré à M. Berthelot que dans les glucosides, ce n'était point les glucoses $C^{12}H^{12}O^{12}$ ou $C^6H^6O^6$ qui jouaient le rôle d'alcool exatomique ou triatomique, suivant que l'on adopte l'une ou l'autre formule, mais bien des corps $C^{12}H^{10}O^{10}$ ou $C^6H^5O^5$ qu'il désigne sous le nom de glucosanes et dont un seul a pu être isolé, la lévulosane. Cette observation rapproche, pour les composés artificiels, d'une manière fort remarquable, les glucoses de la mannite que l'on doit considérer comme un hydrate d'un alcool polyatomique, la mannitane. Or, dans les composés naturels on trouve toujours le rôle d'alcool polyatomique attribué à la molécule $C^{12}H^{12}O^{12}$. On peut expliquer cette différence en admettant que les composés naturels conservent constamment deux équivalents d'eau de constitution de plus que les composés artificiels; mais cette explication ne laisse pas moins subsister entre les composés artificiels et les composés naturels une différence importante.

En résumé, on peut demander à la théorie de M. Berthelot :

1° Pourquoi aucun des composés naturels des glucoses n'a encore pu être régénéré artificiellement :

2° Pourquoi les composés naturels exigent la formule $C^{12}H^{12}O^{12}$, tandis que les composés artificiels qui ont servi à fonder cette théorie ne justifient que la formule $C^{6}H^{6}O^{6}$;

3° Pourquoi enfin les composés naturels dérivent tous de l'alcool $C^{12}H^{12}O^{12}$, tandis que les composés artificiels ont tous pour générateur $C^{12}H^{10}O^{10}$.

En attendant la solution de ces difficultés, solution qui, sans aucun doute, ne tardera guère à se produire, je crois pouvoir tirer des faits exposés dans la première partie de ce travail quelques conclusions qui semblent établir que la synthèse du sucre de canne, au moyen du glucose et de la lévulose, encore irréalisée dans les laboratoires de l'homme, se produit du moins sur une assez vaste échelle dans ceux de la nature.

Les analyses citées dans le tableau de la page 90 mettent en évidence un fait important. Dans le sorgho, la formation du sucre réducteur, c'est-à-dire du glucose et de la lévulose, précède constamment celle du sucre de canne. Ce résultat, qui ressort autant des analyses de M. Leplay que des miennes, me semble infirmer la théorie généralement admise, en vertu de laquelle on considérait le sucre incristallisable des végétaux comme provenant de la destruction du sucre de canne de la même manière que celui que l'on obtient dans les laboratoires. Cette hypothèse, vaguement admise par la plupart des auteurs, a acquis dans ces derniers temps une plus grande importance par suite des travaux de M. Buignet.

Contrairement à ce que l'on croyait avant lui, d'ailleurs sans preuves, ce savant ayant constaté que le sucre des fruits acides était toujours du sucre de canne ou du sucre interverti, a cru pouvoir en conclure que le sucre formé primitivement par l'activité végétale était le sucre de canne, et que le sucre interverti n'était qu'un produit de son altération. Mais alors le sucre interverti des végétaux devait, comme celui des laboratoires, renfermer toujours des équivalents égaux de glucose et de lévulose, et M. Buignet avait rencontré dans les poires et dans les pommes une exception qu'il qualifie lui-même de désaccord entre l'expérience et la théorie. Pour faire disparaître ce désaccord, l'auteur avait eu recours à l'hypothèse d'une fermentation élective. Le glucose aurait été détruit et la lévulose, restée intacte, serait devenue dominante. J'ai montré, page 87, que cette hypothèse ne pouvait se soutenir en présence des faits nouveaux que j'ai exposés dans les tableaux de la page 85. Je ne crois donc diminuer en rien l'importance ni le mérite du travail de M. Buignet, en n'admettant pas, comme lui, que le sucre réducteur des végétaux soit produit par l'altération du sucre de canne.

Non-seulement le sucre réducteur est antérieur au sucre prismatique, mais le tableau de la page 90 montre encore que le sucre réducteur diminue à mesure que le sucre prismatique augmente ; il est donc beaucoup plus naturel de penser que la lévulose et le glucose qui con-

stituent le sucre réducteur se combinent sous l'influence de l'activité végétale pour former le sucre de canne. Si les deux matières sucrées génératrices se produisent dans le végétal en quantités égales, elles disparaîtront en totalité par leur combinaison ; ou bien s'il en subsiste une partie, on trouvera le sucre de canne accompagné de sucre interverti à pouvoir rotatoire = — 26 ; c'est le cas observé par M. Buignet dans la grande généralité des fruits et cité dans la première partie du tableau de la page 62. Si le végétal fait plus de glucose que de lévulose, la formation du sucre de canne laissera un sucre réducteur dans lequel dominera le glucose, comme on le voit dans la seconde partie du même tableau. Enfin si la lévulose s'engendre en plus forte proportion que le glucose, elle dominera dans le sucre réducteur restant, et nous tomberons sur les cas cités dans la troisième partie du tableau et sur les exceptions de M. Buignet. Avant de généraliser cette explication, j'ai voulu vérifier les faits qui lui servent de base sur d'autres plantes que le sorgho. A cet effet, je vais rapporter quelques analyses de betteraves, provenant du champ d'expériences agricoles de Vincennes, faites à deux époques de la végétation, au mois d'août et au mois de novembre 1861. Chaque analyse a été exécutée sur un jus moyen provenant de trois betteraves prises sur le même carré, une petite, une moyenne et une grosse.

NUMÉROS D'ORDRE DES CARRÉS DU CHAMP DE VINCENNES.	ANALYSES D'AOUT.		ANALYSES DE NOVEMBRE.	
	SUCRE cristallisable. p. 100 du jus en volume.	SUCRE réducteur. p. 100 du jus en volume.	SUCRE cristallisable. p. 100 du jus en volume.	SUCRE réducteur. p. 100 du jus en volume.
1	7,38	0,26	10,37	0,00
2	8,65	0,14	8,61	0,00
3	7,31	0,37	6,26	0,33
4	8,00	0,18	7,89	0,00
8	8,44	0,15	8,24	0,00
10	9,36	0,13	9,18	0,00
13	7,40	0,10	7,18	0,00
14	7,60	0,19	8,00	0,00
16	6,88	0,10	7,77	0,00

Chaque carré avait reçu une fumure différente ; par conséquent, la conclusion qui ressort de ce tableau se trouve vérifiée dans des conditions agricoles très-variées, et néanmoins elle est exactement dans le même sens que celle que j'ai tirée de mes analyses des jus de sorgho. Il est donc légitime de dire que, d'une manière générale, dans les végétaux sacchariféres, le sucre réducteur précède le sucre prismatique et disparaît au fur et à mesure de sa production. Loin donc de chercher l'origine du sucre de canne dans des matières tannantes ou féculentes, comme on l'avait fait jusqu'ici, nous la trouvons dans le sucre réducteur lui-même. Il est dès lors facile de comprendre les faits observés par M. Buignet.

Certains fruits ne contiennent que du sucre interverti, parce que, produisant la lévulose et le glucose en quantités égales, ils n'ont pas le pouvoir d'en opérer la syn-

thèse. D'autres contiennent des mélanges variés de sucre de canne et de sucre interverti, parce que la force qui détermine la combinaison possède des degrés d'énergie qui diffèrent avec les espèces. Et ceci ne peut plus nous surprendre, puisque nous avons constaté par les tableaux des pages 85 et 90 que cette même énergie pouvait varier pour une même espèce, sous l'influence du climat, de la nature du sol et même de la culture, comme cela ressort de la comparaison des trois récoltes de sorgho de 1859, 1861 et 1862.

Le fait si remarquable de la formation exclusive du sucre interverti dans les bananes détachées de la plante me paraît aussi s'expliquer d'une manière satisfaisante. On comprend, en effet, qu'en dehors de l'activité vitale, le fruit ne puisse plus opérer la synthèse du sucre, synthèse qui paraît être un phénomène d'ordre supérieur parmi ceux qui peuvent s'accomplir sous l'influence de la vie végétale.

On voit donc, en somme, que si la théorie de la constitution synthétique du sucre de canne laisse encore à désirer au point de vue de ses preuves exclusivement chimiques, elle se prête, au contraire, merveilleusement à l'explication des faits physiologiques et en reçoit, par conséquent, une importante consécration.

CHAPITRE II

FORMATION ET ROLE PHYSIOLOGIQUE DES MATIÈRES SUCRÉES AU SEIN DES VÉGÉTAUX

J'ai montré dans le chapitre précédent que, selon toute apparence, le sucre de canne se formait aux dépens des sucres réducteurs antérieurement produits; mais l'origine du sucre de canne ainsi trouvée ne laisse pas moins mystérieuse celle de la matière sucrée en général, et, comme cela arrive ordinairement dans les sciences expérimentales, nous n'avons obtenu d'autre progrès que celui qui consiste à reculer la difficulté. Il reste maintenant, en effet, à expliquer les formations séparées du glucose et de la lévulose et à montrer comment il peut se faire que ces deux productions aient une marche égale dans certains cas et inégale dans d'autres. Or, sur cette question délicate, ce que nous savons se réduit à peu de chose. Je vais cependant essayer d interpréter les faits encore bien peu nombreux

que possède la science. Réunis à ceux que l'expérience fera connaître dans l'avenir, ils serviront un jour à ériger une théorie démontrée et, par conséquent, définitive de la production des matières sucrées.

M. Buignet a observé dans le suc des fruits verts une matière analogue aux tannins, dont la proportion diminue à mesure que celle du sucre augmente, et qui semble conséquemment concourir à sa formation. Cette matière est comme le tannin de la galle un glucoside décomposable par l'acide sulfurique en glucose et autres produits [1]. C'est assez dire qu'en se détruisant, elle ne peut produire que du glucose et non du sucre de canne, comme le fait d'ailleurs fort bien remarquer M. Buignet. Dans l'hypothèse de l'antériorité du sucre de canne, ce fait n'avait pas une grande valeur théorique, puisque la matière astringente ne pouvant rendre compte de la formation du sucre de canne laissait la production des matières sucrées dans la plus profonde obscurité. Dans les idées que j'ai précédemment exposées, au contraire, cette observation acquiert une très-grande importance, car ce tannin pourrait bien être l'origine de l'un des principes sucrés nécessaires à la constitution du sucre de canne. Resterait à trouver l'origine du second, et lorsqu'il existe de l'amidon dans les fruits verts, comme dans les bananes, par exemple, cet amidon pourrait fournir l'explication demandée, d'autant mieux que,

[1] M. Buignet, thèse citée, page 45.

selon M. Buignet, il disparaît à mesure que le sucre se forme. Mais tous les fruits ne contiennent pas d'amidon, et alors où trouver l'origine cherchée? Peut-être dans la cellulose qui se dédoublerait et repasserait à l'état de glucose. On comprendrait ainsi comment le tissu des fruits, de coriace et résistant qu'il est d'abord, devient ensuite pulpeux et succulent. Mais ici nous sommes évidemment dans le champ des vagues hypothèses. Je ne me serais même pas permis de les formuler si elles n'avaient à mes yeux le mérite de mieux faire saisir la manière dont je crois que la question doit être envisagée pour arriver promptement à une solution.

Une seule chose me paraît hors de doute, c'est que dans les fruits les deux sucres générateurs doivent provenir de substances emmagasinées dans le parenchyme, puisque la formation de la matière sucrée ne s'arrête pas lorsque le fruit est détaché de la plante. Or, ces substances, susceptibles de produire des sucres réducteurs, ne peuvent être que des saccharides formés à l'époque où l'énergie vitale, qui déterminait l'accroissement du fruit, était assez puissante pour réaliser des synthèses d'un degré élevé. Mais peut-il en être de même au sein des tiges du sorgho ou de la betterave? Les circonstances physiologiques sont ici fort différentes. L'énergie vitale, au lieu d'être à son déclin comme pendant la maturation des fruits, est, au contraire, à son apogée. Je croirais donc plus facilement à des réunions synthétiques qu'à des séparations analy-

tiques de corps antérieurement formés. Dans la période de sa végétation qui s'étend jusqu'à la formation de son inflorescence, le sorgho ne produit absolument que des sucres réducteurs, et je suis fort disposé à croire qu'ils résultent simplement de la fixation des éléments de l'eau sur le carbone, qui provient de la réduction de l'acide carbonique par suite de la respiration.

En même temps que les sucres réducteurs, il s'accumule dans la tige de l'amidon et il se produit de la cellulose, puisque la tige grandit. Or, dans les idées de M. Berthelot, l'amidon et la cellulose seraient des saccharides résultant, comme le sucre de canne, de la réunion de plusieurs molécules de divers alcools sucrés avec élimination d'eau. Tandis que deux molécules seulement produisent le sucre prismatique, il en faudrait un plus grand nombre pour produire l'amidon et un nombre encore plus grand pour produire la cellulose[1]. Il serait donc possible de concevoir l'amidon et la cellulose comme des produits de la synthèse des sucres réducteurs formés sous l'influence de la respiration, synthèses puissantes qui correspondent au moment de la plus grande activité vitale. Mais bientôt tous les organes étant formés, ils n'ont plus qu'à grandir et à se développer, les vaisseaux s'obstruent partiellement par le dépôt de diverses matières, les cellules épaississent leurs parois par des incrustations analogues, leurs propriétés osmi-

[1] Berthelot, *Leçons de chimie professées en* 1862, p. 285 et suivantes.

ques diminuent d'autant; la circulation de la séve, la respiration des parties vertes deviennent plus difficiles et plus embarrassées; il en résulte un notable abaissement de l'énergie vitale. Les plus hauts degrés de la synthèse organique ne sont plus alors possibles. La formation de la cellulose diminue graduellement, tandis que de l'amidon continuant à se produire vient peu à peu remplir les cellules et augmenter par son accumulation le ralentissement que je viens de signaler. Alors commence la formation du sucre de canne, synthèse d'un degré inférieur, et elle se continue tant que la respiration conserve assez d'énergie pour en produire les éléments immédiats.

Plus tard la graine se forme; l'énergie vitale s'est encore considérablement abaissée; la plante végète à peine; elle produit son fruit bien plus aux dépens des matériaux qu'elle a accumulés qu'au moyen des éléments bruts qu'elle n'a presque plus le pouvoir d'organiser. La synthèse du sucre de canne se continue activement; mais apparaît un autre phénomène également fort remarquable : l'amidon, précédemment emmagasiné dans la tige, disparaît peu à peu; il se résorbe. Que devient-il? Peut-être sa destruction est-elle destinée à fournir à la formation du sucre de canne l'un des sucres réducteurs dont elle a besoin, et alors nous retomberions à cette période de la végétation des tiges de sorgho sur des phénomènes analogues à ceux de la maturation des fruits.

Tout ce que je puis affirmer, c'est que dans toutes mes expériences j'ai toujours constaté une très-grande quantité de fécule dans les jus de cannes récoltées avant leur maturité, tandis que dans les cannes mûres ce principe n'existait qu'en très-faible quantité. Ce fait si remarquable au point de vue physiologique ne peut guère être exprimé par des chiffres exacts; il aurait fallu recourir pour cela à des dosages d'amidon auxquels je n'ai pas encore pu me livrer. J'ai cependant en sa faveur quelque chose de plus qu'une simple appréciation *de visu*. J'ai remarqué que l'amidon très-léger contenu dans les jus de sorgho, au moment où ils sortent de la presse, avait une influence considérable sur leur densité. Il suffit, en effet, de plonger dans une éprouvette remplie d'un semblable jus un densimètre très-sensible pour voir que la densité va diminuant à mesure que la fécule se dépose. Ce moyen eût même pu servir à la dose s'il eût été possible d'attendre qu'elle fût entièrement déposée. Mais il faudrait pour cela plusieurs jours, et le jus fermenterait. Je me suis donc contenté de comparer la quantité de sucre que l'on pouvait déduire de la densité observée immédiatement après la pressée, à la quantité trouvée par l'analyse. La différence représente le sucre qui serait nécessaire pour augmenter la densité autant que le font la fécule, l'albumine et les autres substances solubles étrangères au sucre que renferme le jus. Cette différence peut être considérée comme l'équivalent en sucre des matières

étrangères; et l'amidon jouant parmi ces matières le rôle le plus important, on peut jusqu'à un certain point apprécier ses variations par celles de cet équivalent.

Voici quelques résultats :

RÉCOLTE DE 1861 A VALENCE.

AGE DES CANNES AU MOMENT DE LA RÉCOLTE.	ÉQUIVALENT EN SUCRE DES MATIÈRES ÉTRANGÈRES. °/₀ du jus.
1° Apparition de l'épi.	1,32
2° Apparition des étamines. . . .	3,67
3° Glumes commençant à rougir. .	6,36
4° Graines mûres.	2,93

RÉCOLTE DE 1862 A VALENCE.

1° Apparition de l'épi.	2,31
2° Apparition des étamines.	2,71
3° Glumes commençant à rougir. .	5,63
4° Graines mûres.	2,37

On voit que la quantité des matières étrangères est à son maximum au moment où la graine commence à se former, et qu'elles diminuent ensuite de moitié environ. Il n'est pas vraisemblable que l'albumine subisse une forte diminution. C'est donc surtout la disparition de l'amidon qui est cause de cet abaissement.

Pendant la période de granification, toute l'activité végétale se concentre dans la graine, les organes foliacés n'agissent plus ou n'agissent que faiblement sur l'atmosphère; aussi sera-ce aux dépens de la matière sucrée contenue dans la tige que se formera l'amidon de la graine, les sucres réducteurs y seront d'abord utili-

sés, et ce n'est qu'après leur disparition que le sucre de canne lui-même pourra être résorbé et subira par conséquent le sort qu'avait précédemment subi l'amidon de la tige. On comprendrait ainsi pourquoi l'on observe une diminution constante des sucres réducteurs pendant toute la durée de la granification.

Pour donner à cette explication une sorte de confirmation expérimentale, j'ai déterminé la répartition du sucre dans la tige du sorgho à plusieurs moments de la formation de ses graines.

Voici les résultats obtenus sur dix tiges récoltées à Paris, le 24 octobre 1859, au moment où les graines commençaient à rougir, c'est-à-dire quelque temps après la fécondation, et, par conséquent, à l'époque où la formation de la graine était en pleine activité.

Les entrenœuds de même rang ont été réunis et pressés ensemble. On a ainsi obtenu neuf jus dont voici les analyses dans l'ordre d'ascension, à partir du sol :

	NUMÉROS D'ORDRE.								
	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.	N° 8	N° 9.
Sucre cristallisable.. .	3.40	9.01	9 46	7.80	8.48	8.57	7.18	7.74	8.37
Sucre réducteur.... .	11.47	[illegible].50	7.57	7.57	8.60	7.89	8.22	6.64	5.11
Somme.	14.87	16.51	17.03	15.37	17 08	16.46	15.40	14.38	13.48

Les sucres sont rapportés à 100 centimètres cubes de jus. Le neuvième et dernier jus provient de l'entrenœud

qui précède immédiatement la flèche dont le jus n'a pas été analysé.

Ce tableau montre que la matière sucrée augmente d'abord jusque vers le premier tiers de la tige, se maintient ensuite stationnaire, et enfin diminue dans les derniers entrenœuds. On remarquera en outre que cette diminution porte exclusivement sur le sucre réducteur.

Voici maintenant les résultats d'un semblable travail exécuté sur cinq cannes récoltées à Valence, le 14 octobre 1861, à la maturité presque complète de la graine. Les feuilles étaient encore vertes et la végétation assez active. Il apparaissait aux divers nœuds des bourgeons latéraux qui commençaient leur développement.

	NUMÉROS D'ORDRE.								
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Sucre cristallisable.. .	9.47	12.26	13.18	11.68	12.66	12.78	12.10	11.92	12.40
Sucre réducteur. . . .	3.51	3.70	2.73	2 73	1.70	1,58	1.61	1.80	1.29
Somme.	12.68	15.96	15 91	14.41	14.36	14.36	13.71	13.72	13.69

Les résultats de cette série d'analyses sont, au point de vue qui nous occupe, exactement les mêmes que ceux de la précédente; seulement l'âge étant plus avancé, la proportion générale du sucre réducteur est moins forte.

Dans ces deux séries, la flèche qui supporte les graines n'avait pas été analysée. En 1862, j'ai voulu

combler cette lacune et j'ai comparé sur une récolte de cannes la composition du jus moyen des tiges à celle du jus moyen des flèches. Voici le résultat :

	SUCRE CRISTALLISABLE.	SUCRE RÉDUCTEUR.	SOMME.
Jus des tiges.. . .	14,14	1,13	15,27
Jus des flèches. . .	8,18	0,76	8,94

Cette analyse montre que la résorption de la matière sucrée, qui ne se fait que faiblement sentir dans les entrenœuds qui précèdent la flèche, est ici beaucoup plus active et porte même sur le sucre de canne, après toutefois avoir fait disparaître la presque totalité du sucre réducteur. Il est donc certain pour le sorgho, comme pour les autres plantes saccharifères, que les sucres contenus dans la tige servent à la formation de la fécule qui s'accumule dans le grain. Mais alors, comment comprendre le fait établi précédemment, à savoir que la somme des sucres, et particulièrement le sucre de canne, augmente dans la tige jusqu'à la maturité complète de la graine?

Les analyses que je viens de rapporter montrent que le sucre employé à la formation de la graine est surtout emprunté aux parties supérieures de la tige, et principalement à la flèche. Mais tandis que s'accomplit cette résorption, les autres parties de la plante n'ont pas cessé de végéter. Bien au contraire; si on examine les entrenœuds inférieurs, on les trouve en général munis d'un bourgeon en train de se développer à l'aisselle de leur

gaîne. Ce bourgeon contient souvent un épi rudimentaire[1].

Les neuf entrenœuds de la plante se préparant à fournir, comme la flèche, à la consommation d'une inflorescence, continuent à produire des sucres réducteurs et à en opérer la synthèse. Nous ne devons donc pas nous étonner de voir cette production l'emporter sur la déperdition qui résulte de la formation des grains de l'épi terminal. Il ne me paraît nullement douteux que si la saison était suffisamment prolongée et assez chaude pour que le sorgho pût arriver au développement et à la maturité de ses épis latéraux, il rentrerait alors dans la règle générale, c'est-à-dire qu'à cette époque de sa végétation, la totalité de son sucre aurait disparu.

CONCLUSIONS

Tout ce que je viens de dire dans cette seconde partie peut se résumer dans les quelques propositions suivantes que je donne sous forme de conclusions :

1° Le sucre de canne me paraît être, comme le croit M. Berthelot, un glucoside, c'est-à-dire le produit de la réunion synthétique de deux molécules glucosiques avec élimination d'eau.

Ce fait, dont la démonstration chimique laisse encore

[1] Voir page 12 à la description botanique.

à désirer, a trouvé dans mes études une espèce de démonstration physiologique;

2° La synthèse du sucre de canne, encore irréalisée dans les laboratoires, me paraît s'accomplir d'une manière presque certaine au sein de la plante que j'ai étudiée ;

3° Rien dans l'état actuel de la science ne s'oppose à la généralisation de ce fait ; au contraire, tout me porte à croire qu'il en est de même dans tous les végétaux saccharifères, puisque cette nouvelle théorie rend aussi bien compte des faits antérieurement observés que de ceux que l'expérience m'a fait connaître;

4° Les générateurs du sucre de canne me paraissent pouvoir provenir, soit de la destruction par fermentation de saccharides antérieurement formés, comme cela arrive dans la germination et dans la maturation des fruits, soit d'une formation directe, comme cela semble se produire pendant la vie foliacée des plantes ;

5° Le glucose et ses isomères représentent la forme primordiale de l'élément hydrocarboné des végétaux, et sucre de canne, dextrine, amidon, cellulose, tannins, etc., forment une série de glucosides de plus en plus complexes, dont la formation ou la destruction répond à des intensités différentes de l'activité végétale ;

6° Enfin la principale destination des matières sucrées qui s'accumulent dans les tiges est bien, comme l'avait déjà établi M. Pallas, la production de la fécule qui

s'emmagasine autour de l'embryon. Cette fécule est destinée à régénérer les glucoses dont elle est formée lors de la germination de la graine, alors que la plante ne possède pas encore les organes qui lui serviront plus tard à en fabriquer de toutes pièces. J'ai montré comment le sorgho, qui, au premier abord, semble faire exception à cette règle, examiné de plus près, en donne au contraire une remarquable confirmation.

TROISIÈME PARTIE

NOTE I

DÉTERMINATION DE L'EAU CONTENUE DANS LES RÉCOLTES

La détermination de l'eau contenue dans les substances végétales se fait avec une grande exactitude en les maintenant pendant douze à quinze heures à la température de 110°. Pour obtenir ce résultat je me suis constamment servi d'une étuve de M. Rousseau, dans laquelle l'eau a été remplacée par de la cire. Un thermomètre plongeant dans l'espace même où l'on place les matières, indique la température. L'étuve est placée sur un trépied en fer et chauffée au moyen d'une couronne à gaz que l'on règle à volonté. Le soir, on introduit dans cette étuve les capsules ou les verres de montre contenant les substances à dessécher et dont on

a inscrit le poids. Le lendemain on les remet sur la balance, et la perte de poids indique l'eau dissipée. Il est utile de faire subir la même opération deux fois au même échantillon : ordinairement les deux pesées concordent; dans le cas contraire, on répète l'opération une troisième fois et alors on obtient un résultat d'accord avec le second.

Ce procédé s'applique à toutes les substances qui ne contiennent pas plus de 20 pour 100 d'humidité. Mais lorsqu'il s'agit de feuilles fraîches ou de tiges très-succulentes, il est indispensable de les soumettre à une dessiccation préalable à une basse température, car à 110° leurs principes constituants éprouveraient de grands changements. Pour cela on en pèse une quantité assez forte, que l'on place dans une capsule en papier, ou mieux sur une cuvette en porcelaine comme celles qu'emploient les photographes, et que l'on met dans une étuve ordinaire chauffée à 40°. A la campagne on peut avoir recours au soleil. Quand la matière est devenue friable, on en reprend le poids et on l'enferme dans des flacons bien bouchés pour déterminer ensuite l'eau à 110°. C'est à cet échantillon que j'ai donné dans le texte le nom de récolte demi-sèche. Il faut le préparer en quantité assez forte pour qu'il puisse fournir ensuite à tous les besoins de l'analyse, tels que incinérations, déterminations d'eau, d'azote, etc., etc.

Dans le cas des matières très-aqueuses, la détermination de l'eau se fait donc en deux temps. Aussi la pré-

caution de tenir l'échantillon dans un flacon bien bouché est-elle indispensable, attendu que ces matières ayant une grande tendance à se mettre en équilibre d'humidité avec l'atmosphère ne manqueraient pas de lui reprendre d'importantes quantités d'eau, si on les laissait en libre communication avec lui. Le calcul du rapport de la matière sèche à la matière primitive se trouverait ainsi faussé, et lorsqu'il s'agirait de rapporter les nombres trouvés à la récolte d'un hectare, l'erreur, se trouvant multipliée par un coefficient énorme, deviendrait très-importante.

La même tendance à l'absorption de l'humidité rend nécessaire l'emploi de quelques précautions dans le maniement des matières qui sortent de l'étuve à 110°. Avant de les mettre sur la balance il faut les faire refroidir. Pour cela on place la capsule dans une seconde capsule en verre à bords rodés et que l'on couvre au moyen d'un disque en verre dépoli. De cette façon la quantité d'air dans laquelle la matière se trouve plongée est très-restreinte et ne se renouvelle pas. Au bout d'une heure environ la température est équilibrée. On place alors tout le système sur le plateau de la balance à analyses, et de l'autre côté on met un poids un peu plus fort que celui qui est nécessaire pour établir l'équilibre. On fait la pesée avec des poids de précision placés sur le même plateau que l'appareil, et on inscrit le poids employé. La matière est alors enlevée, et l'on remet sur la balance tout l'appareil qui la renfermait. On équi-

libre de nouveau, et la différence des deux pesées donne évidemment le poids de la matière sèche, puisque, à part sa disparition, toutes choses sont égales d'ailleurs. Pour avoir l'eau il suffit alors de retrancher le poids de la matière sèche de celui de la matière employée.

Voici un exemple de ce genre de détermination :

Une canne récoltée à Valence, le 19 septembre 1862, a fourni :

Feuilles fraîches.	57gr,50
Ces feuilles séchées au soleil se sont réduites à.	18, 57
Elles ont donc perdu, eau.	38gr,93

Les 18gr,57 restant ont été enfermés dans un flacon bien bouché dont la tare totale a été inscrite sur l'étiquette.

Le 23 janvier 1863, on reprend la tare totale du flacon, elle n'a pas changé. On est donc sûr que les feuilles n'ont pas repris d'humidité. On détermine l'eau contenue dans cet échantillon demi-sec :

Matière mise à l'étuve.	2gr,0
Poids de la même matière séchée à 110°. . . .	1, 855
Eau perdue.	0gr,145

Les feuilles demi-sèches contiennent donc 7,25 pour 100 d'eau. Si 100 contiennent 7,25 d'eau, les 18gr,57 en contiendront 1gr,34, quantité qui, ajoutée aux 38gr,93

déjà perdus par la dessiccation au soleil, donne 40^{gr},27 pour la totalité de l'eau contenue dans les 57^{gr},50 de récolte fraîche, soit 70,03 pour 100.

Telle est la méthode qui m'a servi à déterminer l'eau de toutes mes récoltes.

NOTE II

DÉTERMINATION DE L'AZOTE

Toutes les déterminations d'azote dont j'ai donné les résultats dans le texte ont été faites par le procédé de Will et Varentrapp, modifié par M. G. Ville. Cette modification consiste, comme on sait, à faire passer dans le tube à combustion un courant d'hydrogène pendant toute la durée de l'opération. L'ammoniaque produite, entraînée par l'hydrogène, se rend dans un acide nitrique titré au moyen du carbonate de chaux pur, et dont on reprend le titre après l'opération, par la méthode des volumes. Ce procédé est parfaitement connu; je n'insisterai donc pas davantage sur son dispositif. Je me contenterai de donner quelques explications sur son application aux matières qui m'ont occupé.

Les dosages d'azote ont été exécutés sur les récoltes demi-sèches dont j'ai parlé dans la note précédente. On a ainsi évité la nécessité de faire sécher une grande

quantité de matière dont la conservation à l'état parfaitement sec présente de grandes difficultés. Pour produire un échantillon moyen aussi homogène que possible, on a pris une assez grande quantité de matière que l'on a coupée menue et pulvérisée, lorsque cette opération a été possible. La manière de choisir les échantillons ayant une grande importance, j'insisterai sur chaque cas particulier.

Tiges. — Les diverses parties de la tige du sorgho n'ont pas la même composition. Il importe donc, pour se procurer un échantillon pour les analyses, de prendre à la fois une ou plusieurs tiges entières. On les pèse fraîches, on les fait sécher à 40°, puis on les repèse. Ces poids étant notés, on coupe les cannes aussi menues que possible au moyen d'un couteau à racines, et on pile les tronçons dans un mortier de fer. On obtient ainsi une poudre grossière que l'on enferme dans un flacon et dont on détermine l'eau. On s'en sert ensuite pour le dosage de l'azote et pour toutes les autres analyses, et l'on rapporte par le calcul les résultats obtenus à la matière supposée sèche.

L'échantillon ainsi préparé n'est pas encore d'une homogénéité parfaite ; aussi trouve-t-on, quand on opère sur de petites quantités, $0^{gr}50$ par exemple, de légères différences entre les résultats. On les fait disparaître en prenant la moyenne de plusieurs analyses.

Exemple :

TIGES DE SORGHO.

ANALYSES.	MATIÈRE EMPLOYÉE.	AZOTE TROUVÉ.	AZOTE %
Nos 1	0gr,50	0gr,003504	0,7008
2	0, 50	0, 003212	0,6424
3	0, 50	0, 003212	0,6424
		Moyenne.	0,6618

Feuilles. — Les feuilles de sorgho prises aux diverses hauteurs n'ont pas la même composition. Tandis que celles de la partie supérieure sont de récente formation, celles des parties inférieures, beaucoup plus anciennes, ont déjà perdu par résorption une grande partie de leurs éléments primitifs. Il est donc indispensable, pour obtenir un échantillon dont l'analyse puisse être rapportée à la récolte entière, de le préparer au moyen de la totalité des feuilles d'une ou de plusieurs tiges. Comme pour celles-ci, on prend le poids de la masse récoltée fraîche et demi-sèche ; puis, au moyen d'une cisaille, on coupe les feuilles aussi menues que possible. Le pilon n'ayant aucune action sur elles, il est impossible de les réduire en poudre ; aussi l'échantillon des feuilles est-il encore moins homogène que celui des tiges. Cependant les différences que l'on observe entre plusieurs dosages successifs ne sont pas plus importantes que celles que j'ai signalées plus haut.

Voici les trois déterminations qui m'ont servi à établir le dosage employé dans le texte :

FEUILLES DE SORGHO.

ANALYSES.	MATIÈRE EMPLOYÉE.	AZOTE TROUVÉ.	AZOTE %
Nos 1	0gr,50	0gr,00438	1,46
2	0, 50	0, 00759	1,52
3	1, 00	0, 01510	1,51
		Moyenne.	1,49

Graines. — Pour obtenir l'échantillon qui a été soumis à l'analyse, on a pris la totalité de la graine provenant de quatre tiges. Les graines séparées de leur rachis ont été mélangées. Une portion du mélange a été réduite en poudre dans un mortier en fer. Cette poudre est peu homogène à cause des glumes qui présentent au pilon une grande résistance; cependant les dosages ne sont pas très-divergents.

GRAINES DE SORGHO.

ANALYSES.	MATIÈRE EMPLOYÉE.	AZOTE TROUVÉ.	AZOTE %
Nos 1	0gr,50	0gr,00972	1,944
2	0, 50	0, 00569	1,898
		Moyenne.	1,921

L'eau de chaque échantillon ayant été dosée, rien n'est plus facile que de rapporter ces résultats à la matière sèche et à la récolte d'un hectare.

Les dosages d'azote dans les feuilles et dans les racines de betteraves ont été effectués avec les mêmes pré-

cautions. Les échantillons étant moins homogènes encore, les résultats présentent entre eux des différences un peu plus fortes.

RACINES DE BETTERAVES.

ANALYSES.	MATIÈRE EMPLOYÉE.	AZOTE TROUVÉ.	AZOTE °/o
Nos 1	1gr,00	0gr,01914	1,914
2	1, 00	0, 01819	1,819
3	0, 20	0, 003746	1,873
4	0, 20	0, 003887	1,943
		Moyenne.	1,887

FEUILLES DE BETTERAVES.

ANALYSES.	MATIÈRE EMPLOYÉE.	AZOTE TROUVÉ.	AZOTE °/o
Nos 1	0gr,20	0gr,008469	4,2345
2	0, 20	0, 008177	4,0388
		Moyenne.	4,1116

Ces résultats, rapportés à la matière sèche, conduisent aux chiffres adoptés dans le texte.

L'azote a encore été dosé dans la farine de sorgho. Ici l'opération ne présente aucune difficulté. Il suffit, en effet, de déterminer l'eau et l'azote par les moyens ordinaires, l'échantillon se trouvant tout préparé. Les résultats sont donnés dans le texte.

NOTE III

PRÉPARATION ET DOSAGE DES CENDRE

Pour préparer les cendres, on se sert de l'échantillon moyen de récolte demi-sèche dont j'ai parlé dans la note précédente. L'eau ayant été dosée, il est facile de rapporter par le calcul les résultats obtenus à la matière supposée sèche.

On doit employer une assez grande quantité de matière pour que les cendres laissées suffisent à tous les besoins de l'analyse. On pèse exactement 50 à 500 grammes de matière, suivant la richesse présumée de l'échantillon, et on les incinère en les introduisant par fractions dans une petite capsule en platine tarée et placée sur une flamme de gaz réglée de façon à la maintenir au rouge naissant. Lorsque la totalité de la matière a été introduite, on couvre la capsule incomplétement au moyen d'une lame de platine, et on l'abandonne au rouge naissant jusqu'au lendemain. Les cendres sont

alors parvenues à une blancheur qu'il est impossible de dépasser. On place la capsule sous une petite cloche en verre pour la laisser refroidir, puis on en reprend le poids. La différence des deux pesées fait connaître le poids des cendres. Si, comme je l'ai dit, on a eu soin de régler la température au rouge naissant, les cendres se détachent facilement de la capsule. On les pulvérise finement dans un mortier d'agate et on les enferme dans un petit flacon pour les soumettre ensuite à l'analyse. Sur les diverses parties du sorgho cette opération se fait avec une grande facilité, les sels étant peu fusibles. Avec les feuilles de betteraves, au contraire, les sels fondent si facilement, qu'il est difficile d'opérer à une température assez basse pour éviter leur fusion. Les sels enveloppent alors le charbon, qui devient moins accessible à l'oxygène de l'air et reste mêlé aux cendres avec une grande persistance. Lorsque cette difficulté se présente, on retire la capsule du feu ; après refroidissement, on arrose la matière avec de l'eau distillée et on agite. On laisse déposer les matières en suspension, et au moyen d'une pipette on décante le liquide clair et on le recueille dans un verre. La capsule est placée d'abord sur un bain de sable légèrement chauffé pour dessécher le résidu insoluble, et ensuite sur la flamme du gaz, pour achever l'incinération. Cette fois la matière ayant été débarrassée par l'eau de la plus grande partie des sels solubles et fusibles, le charbon disparaît rapidement. Lorsque le résidu est devenu complétement

blanc, on reverse dans la capsule le liquide mis de côté, ainsi que l'eau de lavage du verre et de la pipette qui ont servi; on évapore au bain de sable jusqu'à siccité, on donne un coup de feu au rouge sombre, on laisse refroidir sous une cloche et on pèse.

Malgré toutes ces précautions, si les cendres contiennent des chlorures alcalins, il est bien difficile de n'en pas perdre une portion et même la totalité, si la quantité en est très-minime. On voit, en effet, à la surface des lames de platine qui servent de couvercle une légère efflorescence blanche qui, dissoute dans l'eau distillée, précipite en blanc par le nitrate d'argent. Cette perte a peu d'importance, et on la rend aussi faible que possible en abaissant la température de l'incinération, comme je l'ai indiqué, au rouge naissant.

Les cendres obtenues sont rapportées par le calcul à la matière employée et à la matière supposée sèche. Il est toujours nécessaire de vérifier ce rapport par deux ou trois incinérations sur de petites quantités. On brûle 2 à 5 grammes de matière pesée dans le creuset même, et le poids repris après incinération permet d'établir le rapport. Lorsque les cendres contiennent des carbonates terreux, on trouve quelquefois des différences importantes qui tiennent à ce que les carbonates ont été partiellement réduits à l'état caustique et inégalement dans les diverses incinérations. Il suffit, pour faire disparaître cette cause d'erreur, d'arroser les cendres, quand elles sont terminées, avec une dissolution concentrée de

carbonate d'ammoniaque, de dessécher au bain de sable, de donner un coup de feu au rouge sombre jusqu'à cessation du dégagement de vapeurs blanches, et de prendre le poids en cet état. De cette façon, l'on a ramené la totalité des oxydes terreux à l'état de carbonates, et les pesées sont devenues comparables.

NOTE IV

ANALYSE QUANTITATIVE DES CENDRES

Je ne me propose pas de décrire dans cette note les procédés d'analyse que j'ai suivis dans tous leurs détails. Ce travail, fort long, serait d'ailleurs inutile, puisque l'on trouve dans les traités d'analyse chimique tous les renseignements nécessaires sur ce sujet. Je ferai seulement connaître la marche générale que j'ai adoptée, et je mentionnerai les petites modifications que j'ai cru nécessaire d'apporter aux procédés généralement suivis dans le but de les rendre plus rapides ou plus précis.

Les principes minéraux des cendres végétales étant toujours les mêmes, et d'ailleurs parfaitement connus, l'analyse qualitative est devenue inutile. On sait d'avance que l'on a affaire à un mélange des corps suivants diversement combinés.

Silice,	Chaux,
Acide sulfurique,	Manganésie,
Acide phosphorique,	Potasse,
Chlore,	Soude,
Oxyde de fer,	Oxyde de manganèse.

Il existe souvent dans les cendres, en outre de ces divers corps, une certaine quantité d'acide carbonique; c'est lorsque les bases étaient dans la plante en plus forte proportion que les acides minéraux. Elles étaient alors combinées à des acides organiques que la calcination a transformés en acide carbonique. Il est donc, avant tout, nécessaire de s'assurer de la présence de cet acide en traitant sur un verre de montre une très-petite quantité de cendres par une goutte d'acide chlorhydrique étendu. S'il se produit l'effervescence caractéristique des carbonates, il faut commencer l'analyse par la détermination quantitative de l'acide carbonique.

Acide carbonique. — On introduit un gramme de cendre dans un petit appareil à dosage d'acide carbonique, appareil décrit dans tous les traités d'analyse. L'acide carbonique est éliminé selon les méthodes ordinaires par de l'acide azotique étendu, et son poids s'obtient par la différence des deux pesées de l'appareil avant et après l'élimination.

Un gramme de cendres suffit ordinairement à cet essai ; mais lorsqu'elles sont très-pauvres en acide carbonique, il faut en employer davantage, car cette méthode entraîne toujours une légère erreur dont l'importance est d'autant moindre que la quantité d'acide carbonique trouvée est plus forte.

Le dosage de cet acide dans les cendres n'a d'autre intérêt que celui de fournir une vérification des autres

parties de l'analyse. Il permet, en effet, de faire la somme des matériaux dosés et de la comparer à la somme des cendres employées pour déterminer la perte de l'analyse. C'est justement à ce titre qu'il importe de lui donner la plus grande attention.

Chlore. — Le produit contenu dans le petit ballon de l'appareil à doser l'acide carbonique peut servir à déterminer le chlore. Pour cela, on le filtre dans un petit flacon à large ouverture, bouché à l'émeri. Le ballon et le précipité sont lavés à plusieurs reprises, au moyen de la plus faible quantité possible d'eau distillée. Lorsque l'eau de lavage n'est plus acide au papier de tournesol, on ajoute dans le flacon un léger excès de dissolution d'azotate d'argent, on bouche et l'on agite pour rassembler le précipité de chlorure d'argent, qui est recueilli, lavé, séché et pesé par les méthodes connues. De la quantité de chlorure d'argent trouvée on déduit le poids du chlore.

Dans les cendres dont j'ai donné les analyses dans le texte, la quantité de chlorure d'argent ainsi trouvée a toujours été si faible, quand elle n'était pas nulle, que je me suis décidé à négliger cet élément dont l'importance agricole est d'ailleurs très-restreinte.

Silice. — Si l'on ne possède que très-peu de cendres, on peut se servir, pour le dosage de la silice, de la liqueur séparée du chlorure d'argent dont on a éliminé

l'argent au moyen d'un excès d'acide chlorhydrique. Comme, en général, la cendre ne manque pas, il est préférable d'opérer sur une portion nouvelle d'un poids moindre que celle qui a servi à doser l'acide carbonique.

On pèse 0^{gr} 50 de cendres sur une petite capsule en porcelaine, on les arrose avec un peu d'eau distillée, puis avec de l'acide chlorhydrique étendu en excès. S'il y a effervescence, on recouvre la capsule avec un verre de montre pour éviter la perte qui pourrait résulter des gouttelettes liquides qu'entraîne le gaz en se dégageant. Lorsque le dégagement cesse à froid, on place la capsule sur un bain de sable légèrement chauffé et on laisse le liquide s'évaporer doucement, sans ébullition. Lorsque l'on n'a plus à craindre le dégagement de l'acide carbonique, on enlève le verre de montre, on le lave avec un peu d'eau distillée que l'on recueille dans la capsule, et on achève l'évaporation jusqu'à siccité. Il faut ménager la température, surtout en approchant de la fin de l'évaporation, car, à ce moment, la moindre ébullition déterminerait une projection, et l'opération serait à recommencer.

Quand la matière est parfaitement sèche, on porte la température à 200° environ, et on l'y maintient pendant deux ou trois heures. La capsule est alors retirée, refroidie, et son contenu arrosé de quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré. On recouvre la capsule d'une petite cloche en verre et on l'abandonne jusqu'au

lendemain. Elle est alors remplie d'eau distillée et chauffée presque à l'ébullition. Tout se dissout, excepté la silice. On décante le liquide sur un petit filtre placé dans un entonnoir au-dessus d'un petit verre à fond rond, susceptible d'aller au feu. On lave la silice à plusieurs reprises et par décantation au moyen d'eau acidulée par l'acide chlorhydrique d'abord, et d'eau distillée ensuite. On fait alors tomber la silice sur le filtre, et l'on y termine le lavage au moyen de la pissette à eau distillée bouillante. Lorsque l'eau de lavage n'a plus d'action sur le papier bleu de tournesol, on laisse le filtre s'égoutter, puis on place l'entonnoir qui le contient dans l'étuve à bain de cire chauffée à 110° environ. La dessiccation du filtre et du précipité s'y opère rapidement. Quand le tout est bien sec, on retire le filtre de l'entonnoir, et, en se plaçant au-dessus d'une feuille de papier noir glacé, on fait tomber le précipité dans un creuset de platine taré. Le papier du filtre est ensuite roulé en boulette et placé dans le creuset par-dessus la matière. On chauffe le creuset couvert d'abord très-modérément pour décomposer le papier, puis au rouge naissant, puis enfin au rouge vif. Lorsqu'en découvrant le creuset on voit la masse bien blanche, on le retire du feu et on le met refroidir couvert sous une cloche en verre. On le porte ensuite sur la balance et l'on en reprend le poids. La différence entre cette pesée et celle qui avait fait connaître la tare du creuset donne le poids de la silice.

Exemples :

FEUILLES DE SORGHO.

ANALYSES.	CENDRES EMPLOYÉES.	SILICE TROUVÉE.	SILICE °/₀
Nos 1	1gr,0	0,682	68,20
2	1, 0	0,687	68,70
3	0, 332	0,2275	68,52
4	0, 30	0,2065	68,66
		Moyenne.	68,62

Pour obtenir dans toutes ces opérations une rapidité suffisante, il ne faut opérer que sur de très-faibles quantités de matière. C'est ainsi que j'emploie seulement 0gr50 ou même 0gr30 de cendres. Si, parfois, je vais jusqu'à un gramme, c'est seulement dans le cas où, la matière étant très-riche de l'un de ses principes, je désire avoir, après son élimination, une quantité suffisante des autres éléments pour pouvoir en continuer l'analyse. Afin de pouvoir négliger le poids des cendres des filtres, on les fait en papier Berzélius et de très-petite dimension. On les prépare en ployant le papier simplement en quatre, de telle sorte qu'une moitié du filtre peut être supprimée à la fin de l'opération. Ces filtres sont placés sur de très-petits entonnoirs évasés et à douille longue et cylindrique. Ces entonnoirs, très-communs en Allemagne, n'existent pas encore dans le commerce français. On se les procure facilement en les soufflant soi-même à la lampe à émailleur au moyen des tubes ordinaires. Lorsque le papier du filtre est exactement appliqué sur les parois de l'entonnoir, le liquide

qui remplit la douille descend tout d'une pièce et forme une sorte de piston dont le poids détermine une filtration rapide.

Ces petits entonnoirs se placent, eux-mêmes, sur des anneaux de verre que l'on fait à la lampe au moyen de baguettes à agiter et qui constituent des supports très-propres et peu embarrassants.

Les liquides et les eaux de lavage sont réunis dans des verres à fond rond que l'on peut se procurer en coupant des fonds de cornues ou mieux en les soufflant soi-même à la lampe.

Dans ce dernier cas, on leur donne la forme d'une poire et on leur fait un bec qui rend très-facile l'écoulement des liquides sur les filtres dont j'ai parlé. Ces verres sont placés au bain de sable pour la concentration des liquides et servent aux précipitations. De la sorte on évite les transvasements et, par conséquent, les pertes. Au moyen de ce petit matériel de verres, entonnoirs et supports, que l'on peut entièrement faire soi-même, on arrive à pratiquer l'analyse minérale avec une grande rapidité, tout en atteignant à un très-haut degré de précision.

Ces appareils ayant été indiqués une fois pour toutes, je continuerai d'exposer la série des opérations sans m'y arrêter désormais.

Acide sulfurique. — Le liquide séparé de la silice par le filtre et recueilli dans un verre à fond rond est placé

au bain de sable, évaporé sans ébullition pour dissiper la plus grande partie de l'eau de lavage, puis porté à l'ébullition et additionné d'un excès de chlorure de baryum. Le précipité de sulfate de baryte est recueilli, lavé, séché, calciné et pesé, et l'acide sulfurique est déduit de son poids. Le liquide, réuni dans un verre à fond rond plus grand que le premier, est réduit, porté à l'ébullition et additionné d'acide sulfurique étendu en léger excès pour séparer l'excès de baryte employée. On filtre et on recueille le liquide dans un verre pour lui faire subir l'opération suivante.

Phosphate de fer. — Le liquide est additionné d'ammoniaque jusqu'à ce qu'il s'y produise un léger trouble. On le porte alors à l'ébullition et on ajoute de l'acide acétique qui fait disparaître le trouble, à l'exception de quelques légers flocons jaunes qui nagent dans le liquide. On filtre la liqueur encore chaude pour les séparer, on les lave à l'eau bouillante, on sèche, calcine et pèse s'il y a lieu. Ces flocons renferment la totalité du fer à l'état de phosphate de peroxyde. Le plus souvent, leur poids est si faible, qu'on peut le négliger, le fer n'ayant que fort peu d'importance au point de vue agricole et l'acide phosphorique devant être dosé à part.

Chaux. — Le liquide séparé du phosphate de fer est évaporé partiellement, porté à l'ébullition et précipité

par l'oxalate d'ammoniaque. Le précipité recueilli, lavé à l'eau bouillante, séché, calciné d'abord à une basse température, puis à la forge à gaz pendant au moins dix minutes, et enfin pesé, fait connaître la chaux à l'état caustique.

Magnésie.—La liqueur, séparée de l'oxalate de chaux, est additionnée de phosphate d'ammoniaque et d'ammoniaque en excès et abandonnée jusqu'au lendemain. Il se forme un précipité cristallin contenant la totalité de la magnésie à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien. On le recueille, lave à l'eau ammoniacale, sèche, calcine et pèse. Le poids du pyrophosphate de magnésie étant ainsi obtenu, on en déduit celui de la magnésie par le calcul.

Alcalis. — Le liquide ammoniacal séparé du phosphate ammoniaco-magnésien est évaporé d'abord dans le verre qui le contient, ensuite dans une capsule de platine, et avec les plus grands soins, pour éviter les projections. On chauffe ensuite sur la lampe à gaz pour chasser les sels ammoniacaux, et finalement on donne un coup de feu pour fondre la matière. Le résidu ainsi obtenu contient la totalité des alcalis combinés aux acides sulfurique et phosphorique. On dissout la matière, on la précipite par l'acétate de plomb, on sépare et on lave le précipité de sulfate et phosphate de plomb, on débarrasse la liqueur de l'excès de plomb au moyen d'un

courant d'hydrogène sulfuré, et l'on évapore le liquide filtré à siccité. Les acétates sont décomposés par la chaleur, et les alcalis passés à l'état de carbonates sont séparés par l'eau du résidu charbonneux qui les souille. Le liquide alcalin est additionné d'acide chlorhydrique étendu et évaporé dans un creuset de platine taré avec les précautions ordinaires, pour éviter les projections par les bulles d'acide carbonique qui se dégagent. Lorsque la matière est sèche, on donne un coup de feu pour fondre les chlorures et on en prend le poids. La soude et la potasse sont ensuite séparées par la méthode ordinaire au moyen du bichlorure de platine. Du poids du chloroplatinate de potasse obtenu, on déduit le chlorure de potassium, et, en retranchant celui-ci de la somme des chlorures, on obtient le chlorure de sodium. La soude et la potasse renfermées dans la matière sont finalement obtenues par le calcul.

Acide phosphorique. — A la rigueur, l'acide phosphorique pourrait être dosé sur la même portion de matière, en l'entraînant par le fer en présence de l'acide acétique avant la précipitation de la chaux. Mais le précipité ferrugineux phosphaté que l'on obtient ainsi étant très-volumineux, exige, pour être bien lavé, une quantité considérable d'eau bouillante qu'il faut ensuite évaporer, ce qui rend le travail plus long et moins sûr. En conséquence, je préfère doser l'acide phosphorique sur une portion particulière de cendres, portion qui est

d'ailleurs très-minime. Pour cela, j'ai eu recours au procédé indiqué par M. Sonenschein, procédé dans lequel on fait usage du molybdate d'ammoniaque, et qui, entre des mains exercées, donne des résultats dont la précision ne laisse rien à désirer. La quantité de cendres nécessaire à une détermination varie entre $0^{gr},05$ et $0^{gr},20$, suivant la richesse présumée en acide phosphorique. La cendre, pesée dans une petite capsule en porcelaine, est traitée à plusieurs reprises par l'acide nitrique qui dissout les phosphates. La solution, filtrée sur un très-petit filtre, est recueillie dans un petit ballon de 60 à 80 centimètres cubes de capacité. Le liquide est évaporé au bain de sable jusqu'à ce qu'il soit réduit à un volume de trois à quatre centimètres cubes. On ajoute alors environ 50 centimètres cubes du réactif de M. Sonenschein, qui est constitué, comme on sait, par une dissolution de 1 gramme d'acide molybdique dans 8 grammes d'ammoniaque, et 20 centimètres cubes d'acide nitrique pur. Cette dissolution, refroidie et filtrée, se conserve pour l'usage. Il faut toujours en avoir une assez grande quantité préparée d'avance.

Le mélange du réactif et de la dissolution nitrique des cendres est porté à l'ébullition, en ayant soin de le tenir constamment agité. Il s'y forme un précipité jaune qui contient la totalité de l'acide phosphorique, si le réactif a été employé en excès suffisant. On laisse le ballon au bain de sable légèrement chaud pendant cinq à six heures, puis on le laisse refroidir et on l'abandonne jus-

qu'au lendemain. On décante alors le liquide sur un petit filtre, au travers duquel il passe très-rapidement. On s'assure que le liquide filtré ne précipite plus par une nouvelle addition de réactif et à l'ébullition. Au cas contraire, il faudrait recommencer avec un plus grand excès de réactif ou avec une quantité moindre de cendres. Lorsque tout le liquide a été séparé du précipité, on lave celui-ci avec de l'acide nitrique étendu de quatre fois son poids d'eau et à froid. Après le lavage, on place le filtre au-dessus d'un petit verre et on le remplit d'ammoniaque que l'on a préalablement passée dans le ballon pour dissoudre le précipité jaune qui était resté adhérent à ses parois. Tout le phospho-molybdate d'ammoniaque se dissout dans l'ammoniaque. On lave le ballon et le filtre avec de l'eau ammoniacale, et les liqueurs réunies dans le petit verre sont additionnées de chlorhydrate d'ammoniaque et de sulfate de magnésie. L'acide phosphorique se précipite à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, qui est recueilli, lavé, séché, calciné et pesé comme à l'ordinaire. Du poids du pyrophosphate on déduit par le calcul celui de l'acide phosphorique.

Dans ce procédé, l'acide phosphorique, étant précipité au sein d'une liqueur très-acide par l'acide nitrique, se trouve séparé de toutes les bases, et même du fer et de l'alumine, dont il pourrait être accompagné et qui restent en solution. La pesée se fait d'ailleurs sous forme de pyrophosphate de magnésie, c'est-à-dire sous celle qui offre le plus de garanties d'exactitude. Ce procédé se

recommande donc à la fois par sa généralité, la minime quantité de matière qu'il exige et sa grande exactitude.

Manganèse. — Le manganèse existe presque toujours dans les cendres, mais il y est en si faible proportion et il a si peu d'importance au point de vue agricole, que j'ai cru pouvoir le négliger. Je ne décrirai donc pas les moyens qui pourraient servir à le doser.

NOTE V

PRÉPARATION ET CLARIFICATION DES JUS DESTINÉS AUX EXPÉRIENCES

Les jus de sorgho que l'on destine aux expériences peuvent être obtenus par divers moyens.

La canne, une fois récoltée, est immédiatement débarrassée des feuilles et de leurs gaînes, ainsi que de sa flèche, dont on note l'âge. Cela fait, on peut la couper, au moyen d'un couteau à racines, en tronçons peu volumineux, que l'on pile dans un mortier et que l'on soumet ensuite à l'action d'une petite presse très-énergique. On peut aussi, et je préfère ce procédé, réduire la canne en pulpe au moyen d'une râpe. On est ainsi beaucoup plus certain d'obtenir le jus de toutes ses parties, et par conséquent un liquide qui représente plus exactement la composition moyenne du suc de la plante.

Quel que soit de ces deux moyens celui auquel on s'arrête, l'expression fournit un jus vert trouble et fécu-

lent qui ne peut être filtré en cet état. La fécule extrêmement fine qu'il renferme encombre les pores du papier, et au bout de peu d'instants le filtre cesse de débiter. Il faut donc, de toute nécessité, avoir recours à un moyen de clarification. On peut employer à cet effet $\frac{1}{10}$ de sous-acétate de plomb qui détermine un coagulum considérable dont le filtre sépare avec la plus grande facilité un liquide limpide et incolore. Ce moyen est excellent lorsque les jus sont destinés à des expériences optiques que l'on peut exécuter de suite. Dans tout autre cas, j'ai recours au procédé suivant : Au jus trouble qui s'écoule de la presse on ajoute son volume d'alcool rectifié à 90° centésimaux. Les matières albuminoïdes se coagulent et entraînent avec elles les divers corps en suspension dans un précipité que le filtre sépare facilement. Si les jus doivent être soumis à des essais optiques, on les débarrasse de la légère teinte jaunâtre qu'ils conservent après ce traitement par une seconde filtration sur un peu de noir animal.

Les liquides ainsi préparés contiennent la totalité des matières sucrées renfermées dans le jus de la plante, dissoutes dans un volume de liquide double du volume primitif. On n'aura donc qu'à doubler tous les résultats fournis par l'analyse pour les rapporter au jus tel qu'il existait dans la plante.

Ces jus alcooliques se conservent sans altération appréciable pendant un temps très-long; ce qui permet de refaire plusieurs fois la même analyse, lorsque l'on a

quelques raisons de douter de ses résultats et aussi de réserver une portion du produit pour les essais dont la discussion du travail pourrait indiquer l'utilité.

J'ai eu fréquemment l'occasion de refaire l'analyse de ces jus à un an et deux ans de distance, et les résultats obtenus n'ont pas varié au delà des limites ordinaires de l'analyse. Je crois donc pouvoir recommander ce mode de conservation si simple et si facile aux personnes qui désirent s'occuper d'études sur les jus sucrés. C'est grâce à lui que j'ai pu, dans beaucoup de cas, me procurer des jus provenant de régions différentes et éloignées, et qu'il m'a été possible de multiplier les essais autant que l'exigeait la délicatesse de certaines questions.

Avant de terminer ce qui concerne la préparation des jus, je dois indiquer deux opérations qu'il importe d'exécuter avant même d'opérer la clarification.

1° Tandis que le jus est encore trouble, on y plonge un thermomètre et un densimètre très-sensible, et on note avec soin la température et la densité.

2° Avant de soumettre la canne à l'action de la râpe ou du pilon, on a soin de couper à chacun de ses entrenœuds une rondelle, de manière à former un échantillon représentant autant que possible la composition moyenne de la canne, et pesant de 10 à 15 grammes environ. Cet échantillon sert à la détermination de l'eau par la méthode que j'ai indiquée.

NOTE VI

DÉTERMINATION QUANTITATIVE DES MATIÈRES SUCRÉES DES JUS

Après avoir essayé sur les jus de sorgho toutes les méthodes d'analyse qui ont été indiquées, j'ai dû m'arrêter à l'emploi de la liqueur cupro-potassique comme étant le moyen à la fois le plus sûr, le plus constant et le plus rapide.

On a indiqué plusieurs formules pour la préparation de la liqueur d'épreuve ; voici celle dont je me suis constamment servi :

D'une part :	Sulfate de cuivre pur.	35
	Eau distillée.	100
D'autre part :	Soude caustique à 16° B.	600
	Tartrate neutre de potasse	150

On verse la première dissolution dans la seconde par petites portions et en agitant ; puis on complète avec de l'eau distillée le volume d'un litre.

Cette liqueur se conserve facilement ; son titre varie peu ; il suffit de le reprendre de temps en temps au moyen d'une dissolution titrée de sucre interverti.

Pour préparer cette liqueur, on dissout 1 gramme de sucre de canne pur et cristallisé dans 30 centimètres cubes d'eau ; on ajoute quatre à cinq gouttes d'acide sulfurique, et l'on porte à l'ébullition dans un petit ballon. Lorsque le liquide est refroidi, on le verse dans une mesure jaugée à 100 centimètres cubes, et on la remplit jusqu'au trait avec de l'eau distillée que l'on fait préalablement passer par le petit ballon, afin de réunir dans la mesure jusqu'aux dernières traces du sucre dissout. On obtient ainsi une liqueur normale à 1 pour 100 en volume de sucre de canne transformé en sucre interverti, dont le poids est de 1gr0526.

Les essais se font dans de petits ballons en verre, dans lesquels on laisse tomber, au moyen d'une pipette jaugée, 5 centimètres cubes de liqueur d'épreuve. On la porte à l'ébullition, et l'on y fait couler goutte à goutte, au moyen de la burette de Mohr, la liqueur sucrée à essayer. Après chaque affusion, on fait bouillir en agitant constamment le petit ballon, et on le place un instant au-dessus d'une feuille de papier blanc pour laisser déposer l'oxydule de cuivre qui s'est formé. Il est ainsi très-facile de juger du moment précis où la liqueur surnageante ne présente plus la moindre teinte bleue et où une nouvelle goutte du liquide n'y détermine plus de précipité. On lit alors sur la burette la

quantité de liqueur employée. Pour obtenir la richesse en sucre d'une liqueur quelconque, il suffit de diviser le titre donné par la liqueur normale à 1 pour 100 de sucre par celui qu'a fourni la liqueur à essayer[1]. Avant de soumettre les jus de sorgho à l'analyse, il faut les étendre suffisamment pour que leur richesse en sucre devienne voisine de 1 pour 100, afin que l'essai dont ils sont l'objet puisse se faire dans des conditions analogues à celles de l'expérience, au moyen de la liqueur normale à 1 pour 100.

Par un premier essai, on détermine la quantité de sucre réducteur. Lorsque le jus ne renferme que très-peu de sucre réducteur, 1 à 2 pour 100 par exemple, l'essai peut se faire sur le jus alcoolique lui-même. Lorsque, au contraire, il en renferme davantage, ce dont on s'assure par un premier essai approximatif, il est nécessaire de l'étendre comme je l'ai dit plus haut. Dans le calcul du résultat définitif on devra naturellement tenir compte de cette extension. Le quotient $\frac{n}{n'}$ sera donc multiplié par un coefficient variable, suivant que l'on aura plus ou moins étendu le liquide.

[1] Soit en effet n le nombre de divisions de la burette donnée par la solution normale à 1 %, $\frac{n}{100}$ représentera la quantité de sucre nécessaire pour réduire 5 cc. de liqueur d'épreuve. Si l'on a employé n' de liqueur à essayer, il est évident que n' contient exactement $\frac{n}{100}$ de sucre; or, n' est contenu $\frac{100}{n'}$ fois dans 100 cc. de liqueur à essayer; si donc on désigne par x la quantité de sucre contenue dans 100 cc. de liquide à essayer, on aura $x = \frac{100}{n'} \times \frac{n}{100} = \frac{100\,n}{100\,n'} = \frac{n}{n'}$ c. q. f. d.

La liqueur normale à 1 pour 100 étant en réalité à 1,0526 pour 100 de sucre réducteur, le résultat trouvé devra être multiplié par ce nombre pour exprimer le poids réel du sucre réducteur.

Par un second essai on détermine la somme des sucres.

On laisse tomber, au moyen d'une pipette jaugée, 5 centimètres cubes de jus alcoolique dans un petit matras jaugé à 50 centimètres cubes. On ajoute cinq gouttes d'acide chlorhydrique et l'on fait bouillir pour intervertir le sucre de canne. On laisse refroidir et l'on remplit le matras avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge marqué sur son col. On obtient ainsi un liquide dix fois plus faible que le jus alcoolique, et conséquemment vingt fois plus faible que le jus de la plante. On le sonmet à l'essai et la richesse obtenue est multipliée par 20. Le résultat exprime la somme des sucres contenus dans 100 centimètres cubes de jus, exprimée en sucre de canne. Il suffit donc d'en retrancher le sucre réducteur, lui aussi exprimé en sucre de canne, pour obtenir la richesse en sucre prismatique.

On peut alors obtenir la véritable somme des sucres, en ajoutant le sucre réducteur réel au sucre prismatique trouvé.

Si l'on compare cette somme à la quantité de sucre que l'on peut déduire de la densité observée sur le jus avant son mélange avec l'alcool, on trouve que la somme observée est toujours inférieure à celle que fournit la densité. Cela provient de ce que le jus tient en dissolu-

tion et en suspension des matières étrangères au sucre et qui en augmentent la densité. Si l'on fait la différence entre les deux sommes, on trouve un nombre qui exprime la quantité de sucre qui serait nécessaire pour produire sur la densité le même effet que les matières étrangères. Cette différence est donc l'équivalent en sucre de ces matières au point de vue de la densité. Bien que cette manière d'exprimer les produits qui accompagnent le sucre dans le jus du sorgho soit loin d'offrir une exactitude absolue, elle peut néanmoins fournir entre les jus un moyen de comparaison qui peut être de quelque utilité, comme on le voit dans le texte, page 145.

Par la méthode que je viens d'exposer, le sucre réducteur et la somme des sucres sont obtenus directement, le sucre de canne se déduit par différence. Par la méthode de M. Clerget, reposant sur l'emploi du saccharimètre optique de Soleil, on peut doser directement le sucre de canne. Cette méthode peut donc fournir une utile vérification des résultats obtenus par la précédente.

Je n'entrerai ici dans aucun détail sur la manière d'opérer; elle est décrite dans le travail de M. Clerget et dans tous les ouvrages élémentaires publiés dans ces dernières années. Je me contenterai d'observer que dans le sorgho les proportions de sucre droit et de sucre gauche étant très-variables, il est toujours nécessaire de recourir à l'inversion.

L'accord de ces deux méthodes, fondées sur des principes si différents, prouve mieux que tout ce qu'on

pourrait dire leur valeur réciproque. Aussi me bornerai-je, pour donner une idée de l'exactitude des analyses sur lesquelles je me suis appuyé dans le texte, à mettre en regard quelques résultats obtenus sur les mêmes jus par les deux procédés.

JUS DE BETTERAVES.

	Sucre cristallisable dans 100 cent. cubes de jus.		
	Procédé chimique.	Procédé physique.	Différence.
Nos 1.	7gr,38	7gr,25	0gr,13
2.	7, 31	7, 42	0, 11
3.	9, 71	9, 72	0, 01
4.	7, 40	7, 25	0, 15
5.	7, 67	7, 61	0, 06
6.	6, 88	6, 88	0, 00
7.	9, 57	9, 57	0, 00

JUS DE SORGHO.

	Sucre cristallisable dans 100 cent. cubes de jus.		
	Procédé chimique.	Procédé physique.	Différence.
Nos 1.	12gr,00	12gr,32	0gr,32
2.	10, 89	11, 05	0, 16
3.	14, 22	14, 31	0, 09
4.	4, 37	4, 61	0, 24
5.	10, 18	10, 21	0, 03
6.	9, 64	9, 90	0, 26
7.	8, 48	8, 56	0, 08

Ces résultats pris çà et là, dans un très-grand nombre d'analyses, représentent assez bien la marche ordinaire du travail. La différence 0,32 est un maximum de variation que l'on atteint très-rarement, et si on la rapporte à la quantité totale de sucre, c'est-à-dire à 12, on voit qu'elle est égale à 2,66 pour 100. Si l'on admet que les

chances d'erreur des deux procédés sont égales, l'erreur probable est dans ce cas extrême de 1,33 pour 100. On peut donc dire d'une manière générale que l'erreur possible par l'une ou par l'autre méthode ne s'élève pas au-delà de 1 pour 100 de la matière sucrée déterminée. Je ne sache pas qu'il existe un procédé plus exact.

Toutes les fois que j'ai pu disposer d'une quantité suffisante de jus, j'ai exécuté mes analyses par les deux procédés, et j'ai pris la moyenne des deux essais comme résultat définitif. Dans les cas où je n'ai pu avoir que de très-petites quantités de jus, je me suis contenté des résultats fournis par le procédé chimique, qui, dans les conditions où je me suis placé, offre, comme on vient de le voir, un degré d'exactitude capable d'inspirer une très-grande confiance.

Je terminerai cette note par un exemple de ce genre d'analyse :

Date de l'essai : 27 septembre 1861.

Provenance : Une canne de sorgho récoltée à Valence le 27 septembre 1861.

Age : Graines complétement mûres, feuilles encore vertes.

Détermination de l'eau : Tronçons enlevés aux divers entrenœuds.

Frais.	19gr,07
Séchés à 110°.	5, 303
Eau.	= 13gr,767, °/₀ = 72,19

Densité du jus. . . . . . = 1,084 à 21° de température.

Essai par la liqueur cupro-potassique. — Une partie du jus est mélangée de son volume d'alcool et filtrée. Le liquide produit est employé à cet essai :

1° Quantité de liqueur sucrée normale à 1 pour 100 nécessaire pour décolorer 5 centimètres cubes de liqueur d'épreuve. = 30 divisions de la burette.

2° On étend une partie du jus alcoolique de son volume d'eau, ce qui conduit à un liquide quatre fois plus faible que le jus primitif. On en remplit la burette et l'on fait un second essai avec 5 centimètres cubes de liqueur d'épreuve.

Quantité de liquide employée = 41 divisions de la même burette.

Le sucre réducteur contenu dans le liquide essayé est donc exprimé par le quotient de 30 par 41, c'est-à-dire par 0,7317, et comme ce liquide est quatre fois trop faible, le titre du jus réel sera $0{,}7317 \times 4 = 2{,}9268$. Il reste à multiplier ce nombre par le coefficient 1,052 (rapport des équivalents de $C^{12}H^{12}O^{12}$ et de $C^{12}H^{11}O^{11}$) pour avoir le sucre réducteur réel. On a donc en définitive pour 100 centimètres cubes de jus sucre réducteur réel $2{,}93 \times 1{,}052 = 3^{gr},08$.

3° On introduit 5 centimètres cubes de jus alcoolique dans le petit matras jaugé, on ajoute cinq gouttes d'acide chlorhydrique et l'on fait bouillir ; on laisse refroidir et

l'on remplit le ballon d'eau distillée jusqu'au trait indiquant le volume de 50 centimètres cubes. On obtient ainsi un liquide vingt fois plus faible que le jus primitif. On en remplit la burette et l'on fait un troisième essai, toujours avec 5 centimètres cubes de liqueur d'épreuve.

Quantité de liquide employé : 35 divisions de la burette. Le quotient de 30 par 35 = 0,857 exprimera le sucre contenu dans le liquide essayé, et ce nombre multiplié par 20 = 17,14 sera le sucre total contenu dans le jus primitif exprimé en sucre de canne. Si l'on en retranche le sucre réducteur exprimé aussi en sucre de canne, on aura 17,14 — 2,93 = 14,21 pour le sucre de canne.

Ces trois essais nous conduisent donc en résumé aux chiffres suivants :

100 cent. cubes de jus = { Sucre réducteur réel. 3,08
Sucre de canne. . . 14,21 }

Essai par la méthode Clerget. — A 100 centimètres cubes de jus primitif on ajoute 10 centimètres cubes de sous-acétate de plomb, et l'on filtre.

Le liquide observé au saccharimètre donne : notation droite = 75°. On introduit 50 centimètres cubes du même liquide dans un petit matras; on ajoute 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, on chauffe à 68°, environ dix minutes. Le liquide refroidi et filtré est observé dans le tube à inversion ; il donne notation gauche

= 30°,5. La température du liquide pendant l'essai est de 21°. On a donc en résumé les données suivantes :

Notation droite.	75°	Température 21°
Notation gauche. . . .	30°5	
Somme de l'inversion. .	105°5	

On trouve pour la richesse en sucre correspondant à ces données, dans les tables de M. Clerget, 130[gr],12 par litre, soit pour 100 centimètres cubes 13[gr],012. L'observation ayant été faite sur un jus additionné de 1/10 d'acétate de plomb, ce chiffre est trop faible de 1/10; le résultat réel sera donc 13,012 + 1,3012 = 14,3132 pour le sucre de canne réel.

L'essai chimique a donné 14,21.

On adoptera la moyenne 14,26 de ces deux nombres, et on aura en définitive dans le jus essayé pour 100 centimètres cubes :

Sucre réducteur.	3,08
Sucre cristallisable.	14,26
Somme des sucres.	17,34

En supposant que le jus ne renfermât que du sucre et de l'eau, la quantité de sucre qui résulterait de la densité serait de 20,438. Il y a donc dans le jus des matières étrangères dissoutes ou suspendues représentant, par rapport à la densité, 3,098 de sucre.

NOTE VII

APPLICATION DU SACCHARIMÈTRE DE SOLEIL A LA DÉTERMINATION DES POUVOIRS ROTATOIRES

Le saccharimètre de Soleil, instrument si utile pour l'essai industriel des liquides sucrés, peut aussi être employé à la détermination du pouvoir rotatoire moléculaire des corps dissous.

Cet instrument est, en effet, gradué de telle façon qu'une dissolution de sucre de canne pur, contenant par décilitre $16^{gr},471$ de sucre, y marque 100 divisions à droite. Il est facile de savoir quelle serait la déviation que donerait au polarimètre de Biot une semblable dissolution.

On doit à Biot la formule suivante : $D = \frac{\alpha}{\lambda \varepsilon \delta}$, dans laquelle D étant le pouvoir rotatoire d'un corps dissous,

α est la déviation observée au polarimètre ;

λ la longueur du tube d'observation ;

δ la densité de la dissolution ;

ε le poids de matière active contenue dans 1 gramme de dissolution.

Dans le cas particulier de la dissolution qui marque 100 divisions au saccharimètre, on a

D=73,8, pouvoir rotatoire du sucre de canne.

$\lambda = 2$ décimètres, longueur du tube du saccharimètre ;

$\delta = 1{,}06762$, densité de la dissolution ;

$\varepsilon = 0{,}1543$, poids de sucre contenu dans 1 gramme de dissolution.

Si l'on introduit ces valeurs dans la formule, on arrive à la relation suivante :

$$73{,}8 = \frac{\alpha}{2 \times 0{,}1543 \times 1{,}06762} = \frac{\alpha}{0{,}32942}$$

d'où l'on tire $\alpha = 24{,}311196$, déviation que donnerait au polarimètre de Biot la dissolution dont nous nous occupons. Or, cette même dissolution donne 100 divisions au saccharimètre ; donc les 100 divisions du saccharimètre correspondent à une déviation de $24°{,}311196$. Une seule division du saccharimètre équivaut donc à $0°{,}24311196$, et un nombre quelconque n de divisions correspondra à $n \times 0°{,}24311196$. Ce produit exprime la valeur de α pour une dissolution quelconque. Si nous

remplaçons dans la formule de Biot α par cette valeur, il vient :

$$D = \frac{n \times 0,2431}{\lambda \varepsilon \delta}$$

Dans le saccharimètre, le tube est toujours de 2 décimètres, donc $\lambda = 2$. Le produit $\varepsilon\delta$ peut être remplacé par p, poids de matière active contenu dans 1 centimètre cube de dissolution, et on a en définitive :

$$D \quad \frac{n \times 0,2431}{2\,p} = \frac{n \times 0,121555}{p} \; (a)$$

formule qui exprime le pouvoir rotatoire D de la matière dissoute au moyen de n, nombre de divisions donné par l'observation saccharimétrique, et de p, poids de matière active contenu dans 1 centimètre cube de dissolution.

Comme, dans l'observation saccharimétrique, un œil exercé ne se trompe jamais de plus d'une demi-division, l'erreur possible ne peut jamais être plus grande que 0°,12155. Cette erreur est égale à la moitié de α lorsque $n = 1$ division, elle n'en est plus que $\frac{1}{200}$ lorsque $n = 100$. Il est donc facile de réduire à volonté l'importance de cette erreur. Il suffit, en effet, d'évaporer le liquide destiné à l'expérience suffisamment pour qu'il marque au saccharimètre un nombre élevé de divisions.

Reprenons l'exemple d'analyse cité dans la note précédente.

Nous avons comme données expérimentales :

1° Notation droite à 21° = 82°,5;

2° Somme des sucres dans 100 centimètres cubes = 17gr,34, d'où : matières actives dans 1 centimètre cube de dissolution = 0,1734.

Introduisons ces données dans la formule (a), il vient $D = \frac{82,5 \times 0,12155}{0,1734} = 57,83$, pouvoir rotatoire de la matière sucrée dissoute.

Le pouvoir rotatoire ainsi trouvé peut appartenir à un mélange de corps à pouvoirs rotatoires différents, aussi bien qu'à une espèce distincte, et c'est précisément ce qui arrive dans le liquide que nous examinons. Dans ce cas compliqué, on peut encore arriver à connaître le pouvoir rotatoire de l'une des matières dissoutes, pourvu que l'on connaisse le pouvoir rotatoire de l'autre, ainsi que les proportions du mélange.

Dans le liquide qui nous occupe, nous avons affaire à un mélange de sucre réducteur et de sucre de canne. Soit S le sucre de canne dont nous connaissons le pouvoir rotatoire = 73°,8, et R le sucre réducteur dont le pouvoir rotatoire cherché sera x, ces quantités S et R étant rapportées à 100 parties du mélange des deux sucres. Il est évident que si on connaissait x et que l'on cherchât le pouvoir rotatoire du mélange, on le trouverait en faisant le calcul suivant : $\frac{S \times 73,8 + R \times x}{100}$, puis-

que ce pouvoir doit être nécessairement moyen entre ceux des composants. Or, ce pouvoir du mélange a été déterminé au moyen de la formule (a). On a donc $D = \frac{S \times 73,8 - R \times x}{100}$. Si l'on résout cette équation par rapport à x, on en tire la formule suivante :

$$x = \frac{100\ D + S \times 73,8}{R}\ (b).$$

Si nous faisons l'application de cette formule à la détermination du pouvoir rotatoire du sucre réducteur dans l'exemple cité plus haut et dans la note précédente, nous arrivons aux résultats suivants :

Données du problème :

L'analyse a divisé la somme des sucres 17,34 ainsi qu'il suit :

Sucre réducteur.	3,08	soit 17,76
Sucre cristallisable.	14,26	82,24
	17,34	100,00

On a donc :

$$S = 82,24,\ R = 17,76 \text{ et } D = 57,83$$

La formule (b) donnera :

$$x = \frac{100 \times 57,84 - 82,24 \times 73,8}{17,76} = -16,53$$

Étant donné, le pouvoir rotatoire du sucre réducteur tel qu'on vient de l'obtenir au moyen de la formule (b),

il est facile de calculer les proportions de glucose et de lévulose qui le constituent.

Soit, en effet, x la lévulose et y le glucose contenus dans 100 parties du mélange qui a D pour pouvoir rotatoire, nous aurons les deux équations : $x + y = 100$ et $56y - 106x = 100D$. Ces deux équations conduisent aux valeurs suivantes de x et de y.

$$x = \frac{56 - D}{1,62} \qquad y = \frac{D + 106}{1,62}$$

C'est au moyen de ces deux valeurs que j'ai calculé les résultats du tableau de la page 88.

Tous les nombres relatifs aux pouvoirs rotatoires que j'ai donnés dans le texte ont été obtenus à l'aide du saccharimètre de Soleil modifié par M. Dubosc, et calculés au moyen de ces diverses formules.

NOTE VIII

ANALYSE IMMÉDIATE DE LA FARINE DE SORGHO

L'eau et les sels minéraux ont été dosés dans la farine par les procédés indiqués note I et note III. Pour obtenir les matières albuminoïdes, gluten et albumine, on a dosé l'azote, et du résultat trouvé on a déduit ces matières par le calcul suivant la méthode indiquée par M. Boussingault.

Les matières grasses ont été obtenues en lavant 20 grammes de farine, au moyen de l'éther sulfurique, dans un petit appareil à déplacement. L'éther évaporé a laissé un résidu de matière grasse dont on a pris le poids. Ce résultat a été vérifié au moyen du sulfure de carbone. Le chiffre adopté dans le texte est une moyenne entre les deux opérations.

Pour doser la cellulose et l'amidon, on a introduit 2 grammes de farine dans un ballon, et on a fait bouillir

avec un grand excès d'eau acidulée par l'acide sulfurique jusqu'à ce qu'une goutte du liquide ne se colore plus ni en bleu, ni en rouge, par la teinture d'iode. On a alors vidé le contenu du ballon dans une mesure de 100 centimètres cubes ; on a rempli la mesure jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée passée dans le ballon pour le laver, et le liquide ainsi obtenu a été jeté sur un filtre pour séparer la cellulose restée insoluble. La cellulose a été lavée, séchée et pesée sur le filtre même. Le liquide séparé de la cellulose par le filtre contient la totalité de l'amidon transformé en glucose. On y détermine ce dernier au moyen de la liqueur cupro-potassique. Le résultat multiplié par 0,9, rapport des deux équivalents du glucose et de la matière amylacée, fait connaître cette dernière.

Le Directeur,
BUSSY.

Permis d'imprimer.

Le Vice-Recteur,
A. MOURIER.

TABLE DES MATIÈRES

DEUXIÈME PARTIE

TROISIÈME PARTIE



PARIS — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.